

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos



PROYECTO FIN DE CARRERA

**INSTRUMENTACIÓN, ADQUISICIÓN DE DATOS  
PARA LABORATORIO MULTIDISCIPLINAR Y  
MOTORIZACIÓN DE BOMBA MANUAL DE  
MECATE**

Autor: Javier Padrón González

Tutor: Dr. Ulpiano Ruiz Rivas Hernando

Ingeniería Industrial

Leganés, Enero 2012



Título: Instrumentación, adquisición de datos para laboratorio multidisciplinar y motorización de bomba manual de mecate.

Autor: Javier Padrón González

Director: Dr. Ulpiano Ruiz Rivas Hernando

## EL TRIBUNAL

Presidente: \_\_\_\_\_

Vocal:  
\_\_\_\_\_

Secretario:  
\_\_\_\_\_

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día \_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



# Agradecimientos:

En primer lugar, gracias a Ulpiano por confiar en mí para realizar este proyecto y ayudarme en cada instante que necesitase.

Gracias a toda mi familia por el sacrificio tan grande que ha realizado para que yo haya podido formarme académicamente.

Gracias a Cristina, por haberme enseñado otra forma de ver la vida y ser un apoyo fundamental.

Gracias a todos los compañeros que he conocido en esta universidad y de los que me llevo un muy buen recuerdo. En especial a: Amílcar, Joaquín, Carlos, Manuel y David.

Gracias a mi hermano Jesús, porque contigo todo era más fácil.

Gracias a todas las personas que han colaborado de una forma u otra, en la elaboración del presente proyecto, con sus consejos y sus buenas palabras.



# Resumen

El presente proyecto definirá los conceptos de control e instrumentalización de un laboratorio, el cual posee distintos sistemas con unas características diferentes. El fin de esto, es ser capaces de controlar todas las señales de los sensores, además de poder recabar información muy importante para posteriores informes.

Tras la selección de los sensores que hemos encontrado en el mercado, se ha realizado un diseño para tratar la información que nos suministran a través de unas tarjetas de adquisición de datos y del software LabVIEW.

Después de realizar simulaciones que verifiquen el correcto funcionamiento del sistema diseñado, se ha creado una interfaz gráfica en Excel, en la que se exporta toda la información desde LabVIEW.

Por último se ha visto la necesidad de incorporar un motor a la bomba manual de agua que conocemos por el nombre de Mecate, para poder simular el comportamiento humano en la extracción de agua.





## INDICE

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1.</b> | <b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.</b>               | <b>11</b> |
| 1.1.      | CONTEXTO DEL PROYECTO                          | 11        |
| 1.2.      | MOTIVACIÓN DEL PROYECTO                        | 15        |
| 1.3.      | OBJETIVOS.                                     | 16        |
| 1.4.      | ESTRUCTURA DE LA MEMORIA.                      | 18        |
| <b>2.</b> | <b>SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SENSORES.</b> | <b>21</b> |
| 2.1.      | SENSORES DE PRESIÓN.                           | 21        |
| 2.1.1.    | Introducción.                                  | 21        |
| 2.1.2.    | Clasificación.                                 | 23        |
| 2.1.2.1.  | Sensores potenciométricos.                     | 23        |
| 2.1.2.2.  | Sensores inductivos.                           | 24        |
| 2.1.2.3.  | Sensores capacitivos.                          | 25        |
| 2.1.2.4.  | Sensores piezoeléctricos.                      | 25        |
| 2.1.2.5.  | Sensores de galgas metálicas.                  | 25        |
| 2.1.2.6.  | Sensores ópticos.                              | 26        |
| 2.1.3.    | Elección del sensor.                           | 26        |
| 2.1.4.    | Calibración.                                   | 27        |
| 2.2.      | SENSORES DE FLUJO Y VOLUMEN.                   | 32        |
| 2.2.1.    | Introducción.                                  | 32        |
| 2.2.2.    | Clasificación.                                 | 32        |
| 2.2.2.1.  | Sensores de presión diferencial generada.      | 32        |
| 2.2.2.2.  | Sensores de sección variable.                  | 33        |
| 2.2.2.3.  | Sensores mecánicos rotativos.                  | 33        |
| 2.2.2.4.  | Sensores basados en efectos térmicos.          | 34        |
| 2.2.2.5.  | Sensores ultrasónicos.                         | 34        |
| 2.2.3.    | Elección del sensor.                           | 34        |
| 2.3.      | SENSORES DE FRECUENCIA.                        | 37        |
| 2.3.1.    | Introducción.                                  | 37        |
| 2.3.2.    | Clasificación.                                 | 37        |
| 2.3.2.1.  | Variaciones en el campo magnético.             | 37        |
| 2.3.2.2.  | Variaciones en el campo eléctrico.             | 38        |
| 2.3.2.3.  | Ruptura de un haz de luz.                      | 38        |
| 2.3.2.4.  | Mediante reflejo de luz.                       | 38        |
| 2.3.2.5.  | Mediante ecos de ultrasonido.                  | 38        |
| 2.3.3.    | Elección del sensor.                           | 38        |
| 2.3.4.    | Calibración.                                   | 39        |
| 2.4.      | SENSORES DE FUERZA.                            | 40        |
| 2.4.1.    | Introducción.                                  | 40        |
| 2.4.2.    | Clasificación.                                 | 40        |
| 2.4.2.1.  | Galgas metálicas y piezorresistivas.           | 40        |
| 2.4.2.2.  | Dinamómetros.                                  | 40        |
| 2.4.2.3.  | Magnetostricción.                              | 41        |
| 2.4.3.    | Elección del sensor.                           | 41        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 2.4.4.    | Calibración.  | 42        |
| <b>3.</b> | <b>SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS</b>                         | <b>45</b> |
| 3.1.      | INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.            | 45        |
| 3.2.      | COMPONENTES Y PARÁMETROS DE LAS TARJETAS DE ADQUISICIÓN.        | 48        |
| 3.3.      | TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE NI.                         | 51        |
| 3.4.      | ENTORNO DE PROGRAMACIÓN LABVIEW.                                | 52        |
| 3.5.      | SOFTWARE DESARROLLADO.  | 57        |
| 3.5.1.    | Introducción.   | 57        |
| 3.5.2.    | Sensor de presión en LabVIEW.                                   | 58        |
| 3.5.3.    | Sensor de volumen en LabVIEW.                                   | 59        |
| 3.5.4.    | Sensor de caudal en LabVIEW.                                    | 62        |
| 3.5.5.    | Aplicación en Microsoft Excel.                                  | 62        |
| <b>4.</b> | <b>SELECCIÓN Y MONTAJE DE UN MOTOR PARA LA BOMBA DE MECATE.</b> | <b>65</b> |
| 4.1.      | OBJETIVO.   | 65        |
| 4.2.      | SELECCIÓN DEL MOTOR EN EL MERCADO.                              | 66        |
| 4.3.      | MONTAJE E INSTALACIÓN.  | 74        |
| <b>5.</b> | <b>CONCLUSIONES.</b>  | <b>81</b> |
| 5.1.      | CONCLUSIONES.   | 81        |
| 5.2.      | FUTURAS MEJORAS Y AMPLIACIONES.                                 | 83        |
| <b>6.</b> | <b>PRESUPUESTO</b>  | <b>85</b> |
| 6.1.      | MEMORIA ECONÓMICA.  | 85        |
| 6.2.      | COSTES DE PERSONAL.   | 86        |
| 6.3.      | COSTES DE EQUIPO.   | 86        |
| 6.4.      | COSTES DE MATERIAL DE OFICINA.                                  | 86        |
| 6.5.      | COSTES INDIRECTOS.  | 86        |
| 6.6.      | PRESUPUESTO TOTAL.  | 86        |
| <b>7.</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>   | <b>89</b> |

# Capítulo 1

## Introducción y objetivo

### 1.1 Contexto del proyecto

El Grupo de Tecnologías Apropriadas de la Universidad Carlos III de Madrid es el encargado del laboratorio donde se desarrolla este proyecto. La instalación se configura de forma que los alumnos son capaces de realizar diferentes trabajos relacionados con las distintas bombas manuales de agua que actualmente existen y que se utilizan en los países que requieren de sus características para poder subsanar las necesidades existentes en cuanto a consumo de agua potable.

Unas necesidades que no están cubiertas en 4 personas de cada 10, de la población a nivel mundial, con todo lo que conlleva para la salud, provocando infecciones y

enfermedades tales como: malaria, cólera, infecciones de la piel, fiebre amarilla etc...Arrojando cada año una cifra de casi 2 millones de muertes en niños.

Con las bombas manuales de agua, correctamente diseñadas y un montaje adecuado, se consigue una mejora en toda la calidad de vida de la zona donde se ha instalado. Ya que según la OMS, es necesario el consumo de por lo menos 50 litros por persona y día. Con esto sería posible el desarrollo de una vida con unas garantías suficientes de salud.

Podemos extraer de la página oficial de la Organización Mundial de la Salud las siguientes palabras sobre el tema que abordamos:

*“El agua es esencial para la vida. La cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada, y su calidad está sometida a una presión constante. La conservación de la calidad del agua dulce es importante para el suministro de agua de bebida, la producción de alimentos y el uso recreativo. La calidad del agua puede verse comprometida por la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos o radiaciones”*

También muestran diez datos muy interesantes y relevantes sobre la escasez de agua mundial, los cuales se pueden describir a modo de resumen:

- Hay escasez, incluso en zonas donde abundan las precipitaciones, ya que el agua no se usa y distribuye correctamente.
- Afecta a todos los continentes y la situación empeora.
- En 2025, cerca de 2000 millones de personas estarán afectadas por la escasez de agua.
- Provoca que las personas utilicen fuentes contaminadas de agua para beber.
- Aumenta el riesgo de enfermedades del tracto digestivo.
- Aumenta el riesgo de contaminación del agua doméstica, dando cabida al criadero de mosquitos, que son vectores de enfermedades.
- Se tienen que gestionar mejor los recursos que poseemos.

- Se pretendía en 2015 disminuir a la mitad las personas que carecen de acceso a agua potable, siendo ahora mismo un objetivo muy complicado.
- Todos debemos responsabilizarnos.
- Es de necesidad extrema contribuir a proteger nuestro agua.

Un concepto interesante que se ha desarrollado para poder solventar el problema existente de la escasez de agua es el denominado VLOM (Village Level Operation and Maintenance).

Está basado en que dada las necesidades que poseen las personas que tienen escasez de agua, se hace necesario el óptimo uso de todos los recursos que posean, tanto energéticos como económicos. Es importante que la tecnología que se use en las bombas manuales de agua, la pueda utilizar cualquier persona sin ningún tipo de conocimientos técnicos. Es por ello que tanto su mantenimiento como el uso diario de las mismas, debe tener unos esquemas muy sencillos, pero a la vez deben ser robustos y tener un mantenimiento que sea fácil de llevar a cabo y no necesite de materiales que presenten importantes cargos económicos.

Con esto lo que se intenta pretender es que la tecnología no suponga un problema para la población local donde se haya desarrollado el montaje de la bomba manual de agua. Sino que en un determinado momento, con una pequeña guía sean capaces de actuar de forma autónoma, sin tener una dependencia exclusiva del exterior.

Para conseguir que este concepto se implante correctamente, es necesaria la responsabilidad tanto local como exterior. Los organismos competentes locales, deben fomentar, cooperar y entender que es necesario que exista un mercado local que sea capaz de suministrar todas las piezas necesarias para poder ser autosuficientes. El exterior debe comprender y analizar las necesidades para realizar correctos diseños, cada vez más adecuados, que sean capaces de solventar todos los problemas relacionados con la escasez

de agua, siempre desde la responsabilidad de que se está abordando un problema de un bien escaso como es el agua.

Por último, hacer un pequeño resumen donde analizamos todos los tipos de bombas manuales de agua, según su tecnología:

- **BOMBAS DE PISTÓN.** Su funcionamiento se basa en un sistema de pistón. Dentro de las mismas encontramos tres variantes:
  - Bombas de succión: Un pistón se eleva, provocando un vacío entre válvulas dando lugar a una diferencia de presión que hace subir la columna de agua. (Aproximadamente 7 metros de altura).
  - Bombas de acción directa: Se eleva un pistón con la fuerza del usuario. (Aproximadamente 20 metros de altura).
  - Bombas de pozo profundo: Se utiliza la fuerza de dos personas, para subir el agua. (Aproximadamente 60 metros de altura).
- **BOMBAS DE DIAFRAGMA.** Se basan en utilización de una membrana elástica. Podemos encontrar dos variantes:
  - Bomba Vernet: A través de un pedal se ejerce la fuerza necesaria.
  - Bomba Avi-ASM: Es la unión de la bomba Vernet y el mecanismo de accionamiento de pistón.
- **BOMBA DE CUBO Y CUERDA.** Es el más sencillo de todos, se baja el cubo hasta el nivel superior del agua y posteriormente se retira mediante el uso de la cuerda.

- **BOMBA DE MECATE.** Funciona gracias a que una cuerda con pistones de plástico atados a una distancia entre sí, circula a través de una tubería vertical, donde en la parte inferior hay agua. Esta será elevada en el espacio existente entre los pistones.

## 1.2 Motivación del proyecto

Este proyecto se ha realizado durante el último curso académico, donde el tutor Dr. Ulpiano Ruiz Rivas Hernando, creyó conveniente implementar y simular el control de los sistemas que poseía en el laboratorio de técnicas apropiadas, donde hasta la fecha no había ningún modo para recabar información de forma fiable y que pudiera servir para posteriores estudios.

Las ventajas que ofrece la instrumentalización y el control del laboratorio, es la posibilidad de conocer el comportamiento real que tendrán los sistemas. Con esto, se podría arreglar todos los problemas derivados de un mal diseño, ya que se sabría en que aspecto se tendría que trabajar mejor.

El alumno, adquirirá una experiencia muy importante para su posterior vida laboral, ya que una parte muy importante del proyecto será la labor de investigación con las empresas suministradoras de productos. Donde tendrá que enfrentarse a ser capaz de adaptar sus necesidades a lo que el mercado comercial ofrece, con todas las dificultades que de eso derivan. También deberá adquirir experiencia con software de simulación nuevo, además de comprender el funcionamiento de los distintos motores existentes.

## 1.3 Objetivos

En este proyecto se pretenden varios objetivos muy diferenciados. En primer lugar, conocer las instalaciones que actualmente se encuentran en funcionamiento en el laboratorio de técnicas apropiadas de la Universidad Carlos III de Madrid y para las cuales se han realizado la selección de los sensores:

- Una bomba manual de Mecate.
- Una bomba manual de pistón de pozo profundo (Afridev).
- Una bomba centrífuga multicelular horizontal.

Donde en la bomba manual de Mecate sería interesante conseguir medir la variable del volumen de agua recogida en un cierto tiempo que se quiera analizar. Para la otra bomba manual existente y en funcionamiento, además del volumen también es interesante la presión a la cual se desarrolla el proceso para la extracción del agua.

Por último en la bomba centrífuga multicelular horizontal, requiere de otros análisis de variables. En este caso, es interesante ser capaces de medir las variables de presión a la cual se desarrolla su funcionamiento, junto con el caudal como otra medida destacable, permitiendo definir y caracterizar el funcionamiento de la bomba en unos determinados regímenes de trabajo.

En segundo lugar, se quiere realizar una selección de los sensores más adecuados para medir las variables que afecten a las instalaciones ubicadas en el laboratorio. Además de comprender cada uno de los mecanismos que utilizan para realizar dichas medidas.

Una vez comprendida la variedad de principios de medida que existen actualmente en el mercado para cada variable, se seleccionará el que cumpla los mínimos exigidos con el coste más reducido.



Un aspecto importante, una vez que se ha seleccionado cada uno de los sensores adecuados para realizar la medición de los parámetros, sería desarrollar una calibración de cada uno de los sensores para que estuvieran completamente definidos con cada uno de sus errores, tales como no linealidad o histéresis.

Otro de los objetivos que se quiere conseguir completar en este proyecto es una completa adquisición de datos correspondientes a cada una de las salidas de sensores. Gracias a esto, se pretenderá realizar una monitorización en tiempo real para poder observar cómo se comportan los sistemas en diferentes ensayos y los posibles fallos que ocurran para posteriormente corregirlos. También se intentará estudiar la posibilidad de incorporar opciones para realizar informes, almacenando los datos en archivos para ser enviados vía internet o la incorporación de un aviso por vía móvil ante una alarma que ocurra en la instalación.

Por último, se pretende realizar una completa motorización de la bomba manual de Mecate para ser capaces de simular el comportamiento de una persona extrayendo agua del fondo de un pozo. Tendremos que realizar un estudio de los tipos de motores existentes que se adapten a las características que consideramos necesarias e imprescindibles para la caracterización de la bomba. Cuando ese motor haya sido seleccionado, muy probablemente no cumpla todas las especificaciones, habrá que adoptar medidas para que así sea, tales como el uso de multiplicadoras o reductoras. Con las medidas incorporadas, se tendrá que pasar al montaje e instalación de cada uno de los componentes del mismo.

Después de todos y cada uno de los pasos previos, se procedería al ensayo y toma de medidas con diferentes parámetros. Aquí es donde obtendríamos unos datos muy valiosos para futuros proyectos e informes.

Con esto ya se podría realizar complejos estudios sobre cuánta potencia requiere para extraer agua una persona en circunstancias diversas, de una forma más adecuada a

cómo actualmente se realizan las mediciones. Se podría ver si estas bombas manuales están diseñadas óptimamente para las condiciones en las que se están utilizando o realmente se necesita de una potencia muy elevada, a lo que una persona sólo es capaz de soportar durante un breve periodo de tiempo.

Si se consigue que todo opere de la forma idónea, tal y como se diseñó, la instalación podrá ayudar a muchas personas a mejorar el desarrollo de las bombas manuales de agua en base a medidas más reales y no con suposiciones que en ciertas ocasiones resultan ser muy equivocadas, en perjuicio de las personas que las necesitan para su vida cotidiana.

## 1.4 Estructura de la memoria

La presente memoria se desglosa en capítulos, en cada uno de ellos se describe un tema relacionado con el presente proyecto.

En el primer capítulo se ha introducido las necesidades de agua que actualmente existen en el mundo, junto con la explicación del término VLOM. Además de describirse los diferentes modelos existentes de bombas manuales de agua y sus principios de funcionamiento.

El segundo capítulo describirá brevemente cada una de las variables a medir a modo de introducción, comentando cuáles son sus características principales. A partir de ahí, se desarrollará una clasificación de los principales principios de medida existentes en el mercado o que se han considerado como más relevantes con respecto a los demás, en base a toda la bibliografía que se ha consultado. Una vez conocidos todos los principios de medida, se explican los motivos de la selección del sensor y qué ha llevado a ello. En el último apartado de cada sensor que lo requiera, se expondrá una documentación referente a

la calibración del sensor y los ensayos que se hayan realizado en el mismo para caracterizarlo de la forma más adecuada.

El ter capítulo de la memoria es el referente a la adquisición de datos de cada uno de los sensores que posean salida analógica. Se introducirán todos los conceptos básicos sobre el tema para que sea más fácil comprender los términos que posteriormente se expondrán.

Se adjuntará la documentación precisa de cómo se ha configurado el sistema de adquisición de datos para poder realizar las medidas en el programa LabVIEW, en el cual se ha desarrollado el proyecto, ya que las tarjetas de adquisición de datos de la marca National Instruments que han sido utilizadas, trabajan con el mismo.

El cuarto capítulo, se describe con una primera sección que nos explicará el proceso de selección del motor y las necesidades que se han querido cubrir con su adquisición. Una vez comprado, se describe cómo fue todo el proceso de instalación del mismo y las dificultades que han existido para poder completarlo correctamente.

Las conclusiones y futuras ampliaciones del proyecto fin de carrera, estarán ubicadas en el quinto capítulo de la memoria. Se hará un análisis de cómo he desarrollado el proyecto y cómo podría ampliarse en un futuro.

El penúltimo capítulo sería el sexto, donde se hará una un presupuesto de lo que ha sido hacer realidad este proyecto. Y por último, el séptimo capítulo será el de la bibliografía que ha sido necesaria consultar, además de hacer referencia a que existe en los anexos cada uno de los códigos que se han desarrollado en LabVIEW para la obtención de datos de las salidas de los sensores que han sido adquiridos para el desarrollo del presente proyecto .



# Capítulo 2

## Selección e implementación de sensores

### 2.1 Introducción

En el apartado de objetivos del Capítulo 1, se describió las variables que el laboratorio necesitaba medir, en función de cada una estas se ha desarrollado el presente Capítulo 2.

El conjunto de las variables que se han seleccionado han sido: presión, flujo, volumen, frecuencia y fuerza. Se realizará una breve introducción de cada una, donde se clasificarán cada uno de los principios de medida que se consideraron como los más adecuados según la naturaleza del proyecto para poder obtener la medida.

Para la documentación de cada uno de los principios de medida que han sido definidos en esta memoria, se ha utilizado la bibliografía que se expone en el Capítulo 7. Donde quedan enumerados y se les hará referencias a lo largo del documento, en este caso

serían la bibliografía numerada con el [4], [6] y [7] para el texto y cada imagen que se exponga y no sea propia también incluirá la correspondiente cita a la fuente de donde procede.

Una vez que se dispone de toda esa información se describe el motivo de la elección de un sensor en concreto frente a todos sus competidores y por último se hará una calibración de los sensores que hayan sido comprados.

## 2.2 Sensores de Presión

### 2.2.1. Introducción

En primer lugar, se definirá el término presión, como un parámetro físico que se encuentra en una gran cantidad de campos relacionados con la industria, donde representa una fuerza por unidad de área. En el Sistema Internacional de Unidades, se mide en  $\text{N/m}^2$  que se denomina Pascal (Pa). Sin embargo en los países sajones, se utiliza la libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi), por lo que en la mayoría de los catálogos de los fabricantes se encontrará esta unidad, que es equivalente a:

$$1 \text{ Pa} = 145.04 \times 10^{-6} \text{ psi.}$$

La medida de dicha presión se puede realizar de diversas maneras, ya que existen tres formas para cuantificar la presión.

La primera de ellas, sería la presión absoluta, la cual se refiere al valor de presión en un determinado punto de un medio respecto al cero absoluto de presión, cuyo equivalente es el vacío perfecto.

Normalmente esta relación de presión no es de interés para aplicaciones industriales, por lo que se utiliza la presión diferencial. Con este tipo de presión se pueden

percibir las variaciones de presión que sufre en una tubería, un fluido que esté circulando por la misma.

Por último, la presión manométrica o relativa, es la diferencia de presión que existe entre la presión absoluta y la presión atmosférica local. Un ejemplo muy claro y utilizado sería la medida de presión sanguínea.

## 2.2.2 Clasificación

### 2.2.2.1 Sensores potenciométricos:

Están basados en los tubos de Bourdon, en cuyo extremo se le acopla un potenciómetro circular. Un tubo de Bourdon es un instrumento de tubo en forma de doble 'C', el cual forma un anillo casi completo, donde al aplicar presión al terminal abierto, el tubo se tiende a enderezar y ese movimiento es el que transmitimos al potenciómetro circular donde ajustar la salida de tensión con la medida que realmente se está midiendo. La principal desventaja de este tipo de sensores es que existe una gran histéresis por la presencia del potenciómetro. Sería adecuado para la toma de medidas de muy bajo costes en aplicaciones sencillas y con bajas prestaciones.

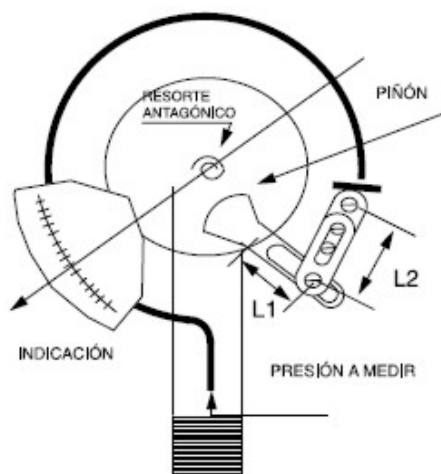


Figura 1. Esquema de tubo de Bourdon. [11]

### 2.2.2.2 Sensores inductivos:

Aquí se incluyen dos tipos de transductores, los de reluctancia variable y los denominados transformador diferencial lineal (LVDT). Los más usados son la combinación del LVDT y un sensor primario de tipo diafragma o cápsula.

La estructura básica de un LVDT consiste en tres arrollamientos, uno primario que se encuentra justo en el medio actuando como primario del transformador, y dos arrollamientos exteriores que actúan como secundarios. Este dispositivo es uno de los más usados para la medida de desplazamientos ya que posee buenas características de linealidad y de sensibilidad.

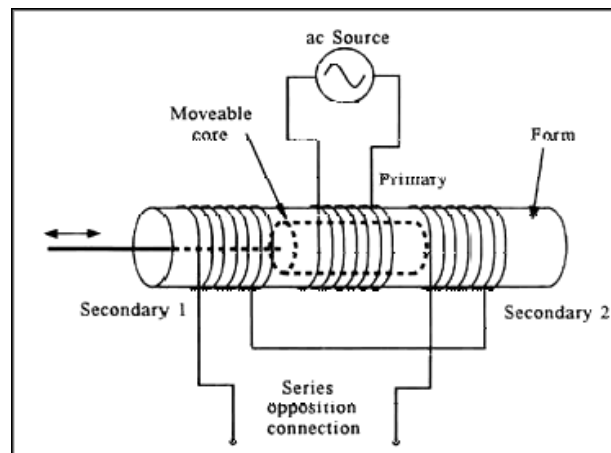


Figura 2. Estructura básica de un sensor LVDT. [9]

El diafragma es de material ferromagnético y se coloca entre dos núcleos ferromagnéticos circulares, a continuación se bobinan dos devanados, uno en cada extremo. Con el montaje de estos elementos, se constituyen dos recintos cerrados independientes que están sometidos a dos presiones diferentes. Si existe una diferencia de presiones entre los dos recintos, hará que el diafragma se deforme, lo que provocará que haya cambios entre las piezas con polaridad y el diafragma. Esta variación es capaz de modificar la reluctancia del circuito magnético en cada bobina, proporcionando una salida que variará a medida que se modifiquen dichas relaciones de presión. Un aspecto importante es que si una de las



presiones es conocida, como por ejemplo la presión atmosférica, ya se puede obtener la presión cuya incógnita se desconocía.

#### **2.2.2.3 Sensores capacitivos:**

Como sensor primario utilizan diafragmas. Se pueden diseñar dos tipos de transductores capacitivos:

- 1) Condensador simple.
- 2) Condensador doble en montaje diferencial.

En el primero, la presión se aplica sobre su diafragma, que tendrá un movimiento que estará relacionado con un electrodo estacionario. Siendo el diafragma la armadura móvil del condensador y el electrodo la armadura fija. En el otro caso, como condensador doble, la presión se aplica entre las dos armaduras fijas al diafragma. La principal limitación que posee este tipo de sensores es la sensibilidad a las vibraciones, donde a bajas presiones encuentra su punto más conflictivo, ya que al realizarse la membrana de un material más fino tiene peor comportamiento.

#### **2.2.2.4 Sensores piezoeléctricos:**

Estos sensores se utilizan para tiempos de respuesta muy pequeños. Están basados en el fenómeno que ocurre cuando ciertos sistemas cristalinos están sometidos a algún tipo de deformaciones lo que provoca una cierta carga eléctrica. El principal problema que poseen es que no son capaces de llegar a medir en continuo, por lo que el principal ámbito de aplicación para este tipo de sensores es en régimen dinámico, donde la fuerza que se aplica al cristal para deformarlo sea variable. Hay que destacar que este tipo de sensores es capaz de funcionar de una forma bidireccional, donde al aplicar una presión provoca una señal eléctrica, y viceversa.

#### **2.2.2.5 Sensores de galgas metálicas:**

En este caso, usan como sensor primario para medias y bajas presiones los diafragmas, mientras que para presiones de un rango más elevado se emplean los cilindros en las denominadas células de presión.

Según las especificaciones que se necesiten para el circuito, normalmente podría elegirse entre dos y cuatro galgas extensiométricas, en lo que se denomina puente de Wheatstone. En este último modelo de cuatro galgas, dos trabajarán a compresión y las otras dos a tracción. Dada que la salida que la salida diferencial entre las mismas es de un valor muy pequeño, es necesario el uso de amplificadores diferenciales para aumentar la señal. Una de sus principales ventajas, es la capacidad que tienen para operar en un rango de temperaturas que los hace idóneos para las aplicaciones industriales.

Las células de presión están formadas por un tubo cilíndrico hueco, donde se introducen dos bandas en sentido transversal a la circunferencia del cilindro junto con las otras dos en la tapa superior del transductor.

#### **2.2.2.6 Sensores ópticos:**

A diferencia de todos los sensores que se han descrito previamente, este tipo está basado en el cambio que se provoca en los niveles de luz entre un emisor y un receptor cuando la presión que se quiere medir modifica un elemento mecánico. Actualmente no son sensores que se utilicen con mucha frecuencia, dadas las dificultades técnicas que se derivan del mismo.

#### **2.2.3 Elección del sensor**

En principio, entre la cantidad de sensores de presión que existen en el mercado, se ha tenido que elegir uno que sea capaz de medir entre 0 y 250 psi con una salida analógica. Se escogió ese rango de presión, no debido a las bombas manuales ya que no se es capaz de alcanzar dicha presión en dichas instalaciones, sino además para poder medir la presión en otra aplicación del laboratorio de técnicas apropiadas de la Universidad Carlos III de Madrid, la bomba centrífuga multicelular horizontal. El poseer una salida analógica es un

aspecto importante para que posteriormente se realice una medición con una tarjeta de adquisición de datos y así tratar los datos de una manera bastante eficiente, además de tener la posibilidad de realizar informes junto con una monitorización en tiempo real.

El motivo más importante para la elección del mismo, fue adaptarse a un presupuesto lo más reducido posible. Entre las dos propuestas más económicas se decidió que la opción más óptima era la utilización de un sensor basado en un cristal piezoeléctrico frente a otros que alcanzaban un precio cuatro veces superior como mínimo.

El modelo elegido fue el 24PCGFM6G con rosca, fabricado por HoneyWell. Este sensor está diseñado con una salida sin amplificar. A continuación se realiza una correcta calibración mediante un instrumento especializado, con el que ver exactamente cómo está configurado el sensor y las diferencias existentes entre los valores que suministra el fabricante con lo que realmente proporciona.

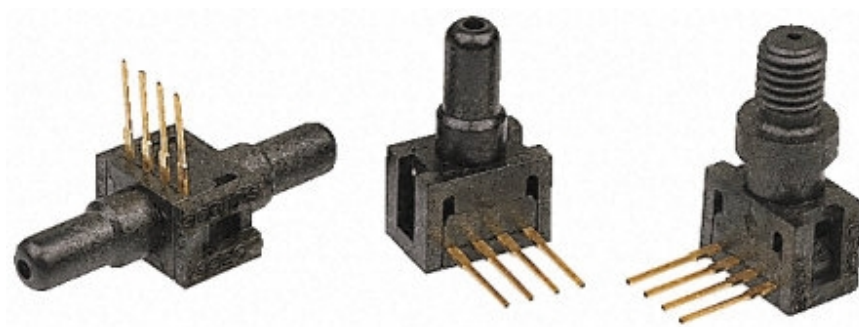


Figura 3. Sensor de presión 24PCGFM6G

#### 2.2.4 Calibración

Para la calibración del sensor 24PCGFM6G se ha elegido un calibrador portátil de presión. Este instrumento de medida, ha sido fabricado por la marca Druck y modelo DPI 601. En la figura 4, se observan cada una de las partes que componen el calibrador de presión seleccionado:

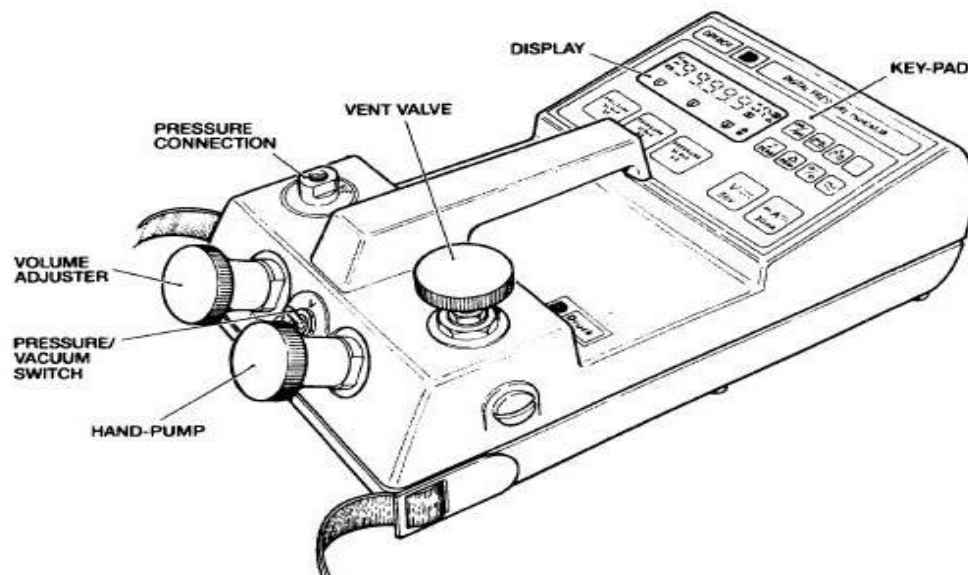


Figure 2, Instrument Controls

Figura 4. Esquema calibrador de presión. [12]

En la parte superior del mismo, se encuentra la pantalla digital (display), además de un teclado que permite variar las medidas entre sistemas de medidas de presión tales como bar o psi, según interese más para los ensayos que se realicen.

El primer elemento importante es el *hand-pump*, la cual introduce aire comprimido a un recinto interior del calibrador, para aumentar la presión del mismo. Este instrumento posee dos formas de ajustar la presión:

- Ajuste fino: Mediante el elemento *volumen adjuster*. Proporciona la capacidad de variar la presión de forma muy poco significativa para alcanzar la máxima precisión. Se puede variarla tanto de forma positiva como negativa.

- Ventvalve: Mediante este elemento se libera presión el recinto interior de una forma mucho menos sensible, pero como ventaja permite modificar rápidamente la presión.

A través del último elemento, *pressureconnection*, se introdujo el sensor de presión a través de un tubo, como se observa en la figura 5:



Figura 5. Calibrador de presión.

Una vez realizado todo el montaje para poder calibrar el sensor, se dispuso a realizar varios ensayos para la toma de medidas y posterior análisis.

Según la hoja de características del sensor de presión, posee una salida de 212 mV cuando se encuentre sometido a una presión de 250 psi. Otro parámetro importante es la sensibilidad, de 0,85mV/psi. Con estos datos, se calcula una ecuación que relaciona la tensión de salida del sensor, con la presión que está midiendo en bares:

$$P=81,1 \text{ V [1.1]}$$

Siendo: P: es la presión del fluido ( psi)

V: es la tensión de salida del sensor (Voltios)

En el ensayo se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- En primer lugar, un polímetro se conectó a la salida diferencial del sensor de presión.
- Cálculo del offset del sensor: -3,1mV.
- Curva de subida: toma de medidas de la tensión que suministraba y se recogían gracias al polímetro, hasta alcanzar los 5 bares de presión.
- Curva de bajada: al igual que en la curva de subida, se tomaban muestras de los datos de la salida en tensión que proporcionaba el sensor de presión hasta alcanzar la presión atmosférica.

Para la adquisición de datos se utilizó una cámara de grabación sin ninguna aplicación específica. Gracias a esta cámara se pudo obtener un dato de salida por cada 0,1 bar de presión, ya que al ralentizar la reproducción de la grabación se podían tomar más muestras, permitiendo caracterizar de una forma más precisa y real el sensor. Como medida de seguridad, sólo se alcanzó a medir hasta los 5 bares de presión debido a que las conexiones de las que se disponía entre los tubos y el sensor de presión a partir de dicho valor, tenían fugas.

No se consideró buscar alternativas para alcanzar presiones más elevadas, dado que a los rangos a los que trabajan los sistemas del laboratorio de técnicas apropiadas no

superan los 5 bares de presión, quedando totalmente definido el rango de trabajo mediante este ensayo de calibración:

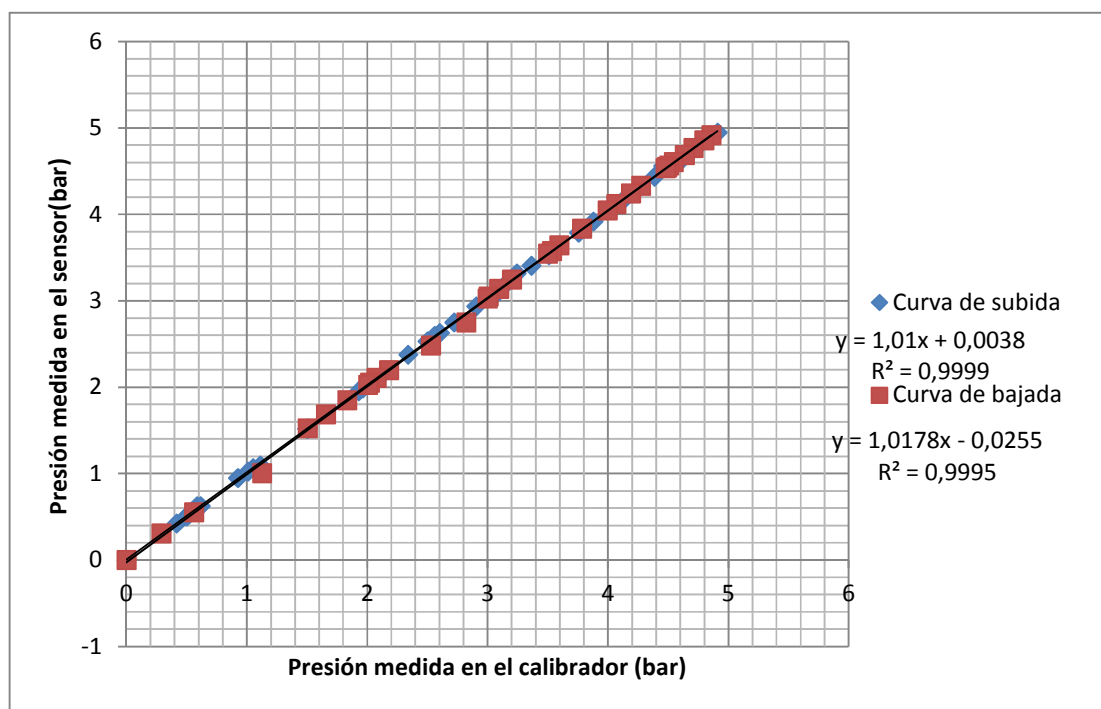


Figura 6. Ensayo de calibración del sensor de presión.

Se observa que los datos se ajustan perfectamente a una línea recta y eso verifica además de gráficamente, con el valor de  $R^2$ , que mide la linealidad de las rectas, donde 1 es completamente lineal, siendo el valor obtenido de 0.999, un dato que describe su elevada linealidad. Las ecuaciones de la recta, tanto de la curva de subida como la de bajada, no son diferenciables, siendo la histéresis despreciable, por lo que el sensor es capaz de funcionar óptimamente.

## 2.3 Sensores de flujo y volumen

### 2.3.1 Introducción

La medida del flujo de una tubería o un canal es importante en muchas aplicaciones tales como la investigación en laboratorios o el sector industrial. Existen tres parámetros fundamentales para caracterizar el flujo de un fluido:

- Velocidad del fluido: Es una magnitud que se mide en m/s y puede interesar en determinadas circunstancias en las cuales los otros parámetros posean una complejidad muy elevada para ser medidos. No se suele usar la curva de velocidad dentro de la tubería, sino que se prefiere usar el valor medio en cada sección del conjunto. Este parámetro, se encuentra dentro de la expresión a la cual Osborne Reynolds da su nombre, distinguiendo dos regímenes, laminar y turbulento.
- Caudal: Se mide en  $\text{m}^3/\text{s}$  y nos indica el volumen del fluido que circula por cada unidad de tiempo. La ventaja que posee este parámetro con respecto a la velocidad del fluido es que nos informa de la cantidad de material que está circulando.
- Flujo másico: Se expresa en  $\text{kg/s}$  y permite conocer la cantidad de materia que circula.

### 2.3.2 Clasificación:

#### 2.3.2.1 Sensores de presión diferencial generada:

Emplean elementos que obstaculizan el movimiento del fluido que circula por una tubería produciendo un cambio en la velocidad y dando lugar a una diferencia de presiones. Con esta diferencia se puede conocer el caudal del fluido. Una limitación importante de este tipo de sensores es la denominada perturbación intrínseca sobre el medio, que afecta a la sensibilidad de la variable final que es la presión diferencial.



Dentro de este tipo de sensores, a su vez se distinguen cuatro métodos para provocar la obstrucción del movimiento:

- El tubo de Pitot.
- Toberas.
- Tubo de Venturi.
- Diafragmas.

### **2.3.2.2 Sensores de sección variable:**

Estos sensores cambian la sección que van a dejar libre para que el fluido se mueva mediante una pieza que se desplazará, manteniendo constante las pérdidas de presión. Al provocar un movimiento, se podrá utilizar con otros sistemas ya conocidos, como por ejemplo potenciómetros o elementos inductivos, variando la salida y tener una medida del caudal.

### **2.3.2.3 Sensores mecánicos rotativos:**

El principio de medida de los mismos, está basado en el uso de turbinas de pequeño tamaño con álabes, donde en función de la velocidad de giro proporciona el caudal del fluido, mediante distintos sensores que sean capaces de registrar dicha velocidad angular.

Las partes mecánicas al moverse debido a la energía del fluido producen unas pérdidas de carga. Dependerán de la precisión y de las holguras existentes entre las partes móviles y las fijas, por lo que será necesario en la fabricación el uso de calidades elevadas. Por lo tanto, si los fabricantes consiguen reducir el rozamiento y estas pérdidas al mínimo, será posible diseñar una turbina donde la velocidad varíe de forma lineal con el caudal.

Un problema asociado a este tipo de sensores es que si se disponen de dispositivos pequeños para calcular el flujo, tan sólo proporcionarán una información que es extremadamente local de la velocidad, no pudiendo aplicar el valor obtenido a la totalidad del fluido. Por el contrario, si se disponen de dispositivos excesivamente grandes, al medir la velocidad media del fluido, aumentarán en mayor medida las perturbaciones.

Actualmente es el sensor más desarrollado, aún teniendo problemas relacionados con el mantenimiento de los elementos mecánicos rotativos debido al desgaste que son sometidos.

#### **2.3.2.4 Sensores basados en efectos térmicos:**

Están basados en la transmisión de calor entre dos puntos que se encuentran en una corriente de un fluido. Sin embargo, este tipo de sensores tienen un gran inconveniente debido a que la temperatura también puede ser modificada mediante otros parámetros tales como el tipo de fluido que se esté midiendo o incluso los materiales de las tuberías por los que circula. Es por ello que actualmente, es complicado ver su uso en aplicaciones industriales.

#### **2.3.2.5 Sensores ultrasónicos:**

Están basados en el desplazamiento de la frecuencia por efecto Doppler de la luz dispersada por un objeto que se está moviendo respecto a una fuente de radiación. Sin embargo, estos sensores no pueden ser utilizados en cualquier tipo fluidos, sino que es necesario que existan partículas en suspensión, por lo que limita enormemente su campo de aplicación.

### **2.3.3 Elección del sensor**

Es necesario conocer dos medidas: volumen y caudal. Estos dos parámetros están muy relacionados, puesto que con uno de ellos es posible calcular el que nos falta. Es por eso que los principios de medida existentes, se pueden aplicar tanto para hallar el volumen como el caudal. En principio, para las bombas manuales no es de interés calcular el caudal del flujo, ya que lo realmente importante es la cantidad de agua extraen las bombas manuales. Sin embargo, dado que se está desarrollando un proyecto para el laboratorio de técnicas apropiadas, será necesario para otras aplicaciones relacionadas con bombas de agua motorizadas conocer el caudal, siendo preciso tener una lectura en tiempo real de esta medida.

Para tener una lectura del volumen, se ha elegido un contador de agua que utiliza como método de medida los componentes mecánicos rotativos. En este caso, utiliza una turbina, la cual gira a una velocidad angular en función del fluido, proporcionando cada metro cúbico de agua un pulso eléctrico para que pueda ser registrado por la tarjeta de adquisición de datos. La marca del fabricante del sensor es Altenic.



Figura 7. Contador de volumen

En la selección del medidor de caudal, el principal requerimiento y más crítico fue el rango del caudal con el que se trabajaría. Se estableció un rango de 0-150 l/min, limitando enormemente el mercado de sensores de caudal, ya que la mayoría de los mismos operan en niveles muy inferiores al necesario para la actividad a la que se destinará, una

bomba centrífuga multicelular horizontal, cuyo rango máximo de caudal es 0 a 150 litros / min.

Por ello, el uso de las turbinas como principio de medida es el único capaz de proporcionar las características básicas y necesarias para los objetivos a cumplir, ajustándose a un presupuesto limitado.

Aunque el precio se incrementa de forma muy notable, era muy importante ser capaces de tener una medida en tiempo real del caudal, ya que los otros modelos que existen en el mercado, proporcionan la medida pero tan sólo de una forma visual, impidiendo el posterior tratamiento. Por lo tanto el modelo elegido es DFT.990.RS del fabricante Parker. Funciona como una fuente de corriente de 4 a 20mA proporcional al caudal calibrado de fábrica 4-100 l/minuto, pero puede ser calibrado para alcanzar los 150 l/minuto que necesitamos. Otros datos de interés que posee:

- Precisión:  $\pm 2\%$ .
- Repetitividad:  $\pm 1$  l/min.
- Máxima presión de trabajo: 10 bares.
- Peso: 0,4 Kg.

Uno de los inconvenientes de este modelo en concreto es que posee una rosca en su extremo de 1', mientras que la bomba a la que está destinado su uso posee una rosca de 1' 15''. Por lo tanto habrá que realizar entre los extremos de los mismos un acoplamiento mediante un sistema normalizado.



Figura 8. Sensor de Caudal

## 2.4 Sensores de frecuencia

### 2.4.1 Introducción

El concepto de presencia de algún objeto en el campo de alcance del sensor es su principio de funcionamiento. A través de la presencia de ese objeto es posible definir la velocidad a la que se mueve el objeto. Este tipo de sensores son los denominados tacómetros, los cuales son instrumentos mediante los cuales se puede medir la velocidad de giro en revoluciones por minuto.

### 2.4.2 Clasificación

#### 2.4.2.1 Variaciones en el campo magnético:

Dado que los sensores inductivos son capaces de generar un campo magnético, esto se aprovecha con la utilización de materiales metálicos, no importando si es ferromagnético o no, para producir una variación en la tensión o corriente del circuito. Registrando esas modificaciones mediante algún tipo de lógica electrónica, se conocerá cómo se comporta el objeto del cual se quiere hallar la frecuencia de presencia ante el sensor.

#### **2.4.2.2 Variaciones en el campo eléctrico:**

En este caso, se aprovechan de los efectos capacitivos que produce una variación en el campo eléctrico por la presencia de cualquier objeto. El principio de medida es equivalente al inductivo y no ofrece ninguna modificación.

#### **2.4.2.3 Ruptura de un haz de luz:**

Están constituidos por un conjunto emisor-receptor y un espejo adecuado situado a una distancia que es capaz de devolver el haz al conjunto emisor-receptor.

#### **2.4.2.4 Mediante reflejo de luz:**

Este tipo de sensores normalmente se denominan como detectores de reflexión en objeto, parecidos a los infrarrojos activos aunque su alcance es menor y la iluminación que poseen es direccional.

#### **2.4.2.5 Mediante ecos de ultrasonidos:**

El problema de este tipo de sensores es que es poco selectivo, además de que el alcance depende del tamaño del objeto.

### **2.4.3. Elección del sensor**

Es necesaria la medición de la frecuencia de giro de la rueda de la bomba Mecate del laboratorio. Por ello se ha seleccionado un tacómetro, que analizará en qué rango de frecuencias se encuentra la bomba manual de Mecate, ya que posteriormente al motorizarla se tendrá que actuar en ese rango. Se ha elegido principio de medida de ruptura de un haz de luz, con el modelo comercial: PCE-DT62.

Gracias a la utilización de una banda reflectante que se adhiere a la pieza giratoria, proporciona una mayor calidad en la medición. También da la posibilidad de realizar una medición menos exacta sin la utilización de las bandas reflectantes, con la ventaja de la movilidad que eso proporciona. Se ha optado por este modelo ya que no es crítico conseguir la medida exacta de la frecuencia en cada instante, sino el rango en que

normalmente se sitúa el proceso para la extracción de agua. Este instrumento es óptimo para el proyecto dado que es capaz de suministrar los valores máximos y mínimos de la frecuencia, que se almacenan en la memoria del mismo, con un coste muy inferior a otros modelos que actualmente existen en el mercado.



Figura 9. Tacómetro PCE-DT62.

#### 2.4.4. Calibración del sensor

Se han realizado dos tipos de ensayos para poder conocer el funcionamiento de los dos modos que posee el tacómetro. Estos permiten medir:

- Número de revoluciones.
- Revoluciones por minuto.

El primer ensayo que se ha realizado es una toma de muestras cada 2 centímetros desde la banda reflectante al sensor. Se disponía en el modo que permite registrar el número de revoluciones totales. Se colocó una banda reflectante en uno de los sistemas mecánicos rotativos del calibrador, el cual alcanzó la cifra de 50 vueltas. El tacómetro debía ser capaz de obtener ese dato. Hasta los 14 centímetros de distancia, no tuvo ningún tipo de error,

mostrando las 50 vueltas del experimento, pero a partir de esa distancia, dejó de funcionar correctamente, provocando errores y medidas muy dispares o simplemente no midiendo.

En el segundo ensayo, se procedió de la misma manera, pero esta vez seleccionando el modo de revoluciones por minuto que ofrece el tacómetro. Sin embargo, el calibrador se mantuvo a una velocidad definida, para obtener unos datos constantes a lo largo de todo el procedimiento. Como resultado se obtuvo lo mismo que anteriormente, ya que a partir de los 14 centímetros, todos los valores que se medían tenían errores.

## 2.5 Sensores de fuerza

### 2.5.1 Introducción

La unidad de la fuerza es el newton (N), que se define como la fuerza necesaria para imprimir una aceleración de un metro por segundo por segundo a una masa de un kilogramo. Siendo una magnitud física vectorial, la cual puede deformar los cuerpos, variar la velocidad del objeto o llegar a ponerlos en movimiento si se encontraban inmóviles.

### 2.5.2 Clasificación

#### 2.5.2.1 Galgas metálicas y piezorresistivas

Los principios fundamentales para poder obtener medidas con estos dos tipos de sensores ya han sido explicados previamente en la descripción de los sensores de presión, por lo que no se va a volver a incidir en el mismo concepto dado que la descripción de los mismos será la misma.

#### 2.5.2.2 Dinamómetros.

El dinamómetro es un elemento que sirve fundamentalmente para poder medir pesos, donde su principio de funcionamiento está basado en la elongación de un resorte, y que a través de la ley de Hooke estimar la medida.



Estos sensores llevan un muelle en su interior, donde alrededor del mismo se encuentra un cilindro y un gancho en la parte inferior donde el peso se dispondrá para realizar la medida. Este peso desplazará el muelle que variará la medida de la escala de fuerza que lleva el sensor.

### 2.5.2.3 Magnetostricción

Se basan en el fenómeno que ocurre cuando un material se expone a un campo magnético, sus dimensiones variarán. Sucede en todos los materiales ferromagnéticos que existen tales como el cobalto, el níquel y el hierro. Para las aplicaciones que se requieren en la ingeniería, los más importantes y a los que se les tiene más seguimiento son a los que poseen una elevada magnetostricción con campos magnéticos.

### 2.5.3 Elección del sensor

Se ha considerado que la mejor opción entre todos los tipos de sensores de fuerza es seleccionar el que sea más económico y nos pueda proporcionar la medida en tiempo real sin ningún tipo de tratamiento, que se pueda conocer con tan sólo observarla. Por tanto el sensor que se ha buscado está basado en el principio de funcionamiento del dinamómetro.



Figura 10. Dinamómetro

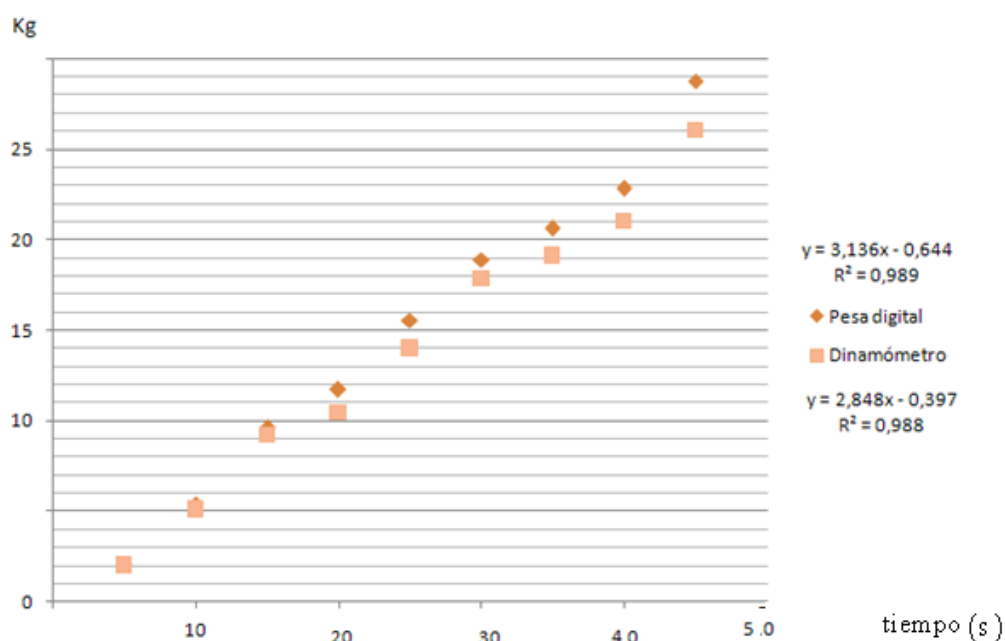
Se ha optado por no buscar ningún tipo de dinamómetro con salida analógica, debido al sobrecoste que incurrirá en el presupuesto, no proporcionando una aplicación realmente útil para el proyecto realizado.

El rango de medida del dinamómetro variará desde los 0 Kg a los 30 Kg. También existe la posibilidad de realizar las medidas en libras (1 lb = 0,4536 kg ).

#### **2.5.4 Calibración**

Para poder realizar la calibración se ha utilizado una balanza comercial digital de precisión de la marca SOEHNLE. Se ha procedido introduciendo distintas unidades de peso en la balanza, quedando registrados cada uno de los valores, que variaran desde los 0kg hasta los 30 Kg que es capaz de soportar el dinamómetro. Todas las medidas fueron archivadas un programa de cálculo, para después poder compararlo con mayor precisión.

Posteriormente se han introducido los mismos pesos en el sensor de fuerza seleccionado para el proyecto, donde se ha un inconveniente de no tener una salida analógica para tratar los datos de forma más eficiente, supone que la medida hay que obtenerla de forma visual, con los errores que eso da lugar. La escala impresa para poder medir que posee es de muy poca precisión, ya que sólo está marcado cada 0,5 Kg con una separación física entre ellas de un milímetro.



Gráfica 1. Calibración sensor de fuerza

Una vez introducidos todos los datos, se obtiene la gráfica 1, que muestra las dificultades existentes que posee el dinamómetro en el rango superior de medida. Sin embargo, se puede considerar que es un margen de error bastante tolerable, dado que a la aplicación a la que se va a someter, un freno dinamométrico, no exige una precisión elevada. Es por ello que el sensor seleccionado, cumple con todas las consideraciones técnicas que se buscan, además de tener un precio muy inferior a sus competidores.



# **Capítulo 3**

## **Sistemas de Adquisición de datos**

### **3.1 Introducción a los sistemas de adquisición de datos (SAD)**

Para la documentación de todo este Capítulo se ha utilizado la documentación que existe en la bibliografía con los números [4], [5], [8] y [9].

Actualmente en cualquier sector de la industria es necesaria la medición de las variables físicas que afecten a su entorno. Para solucionarlo, se han desarrollado los sistemas de adquisición de datos (SAD). Gracias a ellos es capaz de obtener información de un determinado proceso. Existen cinco componentes básicos en los SAD:

- 1- Los sensores, que son los encargados de medir el fenómeno físico y convertirlo en una magnitud eléctrica.
- 2- Un bloque acondicionador, con la función de aislar, filtrar, convertir y/o amplificar la señal que emiten los sensores.
- 3- Un sistema que sea capaz de transformar la señal analógica en digital para poder tratarla.
- 4- Un componente que transforme la información que se le suministra y lo transforme en datos que sean útiles al usuario final.
- 5- Un elemento que sea capaz de representar y comunicar los datos al usuario.

Los sistemas de adquisición de datos tienen diferentes configuraciones, donde algunas son más apropiadas para cumplir óptimamente unas funciones determinadas. Actualmente, de entre todas las posibilidades, se diferencian tres junto con sus combinaciones:

- 1- Los sistemas basados en computador con una o varias tarjetas de adquisición de datos. Se conectan al bus interno del computador que realizan la conversión de la señal analógica a digital y viceversa.
- 2- Sistemas basados en instrumentos de adquisición, donde a su vez podemos distinguir dos casos:

- a. Instrumentos independientes y autónomos del bus de un computador, pero que a su vez son capaces de conectarse a través de buses de instrumentación (GPIB), o a través de comunicación serie o paralelo.
- b. Instrumentos basados en módulos de adquisición, conectados a un bus local especializado.

El sistema basado en computador es el más adecuado para aplicaciones que no sean muy exigentes. Esta configuración, normalmente utiliza el PC para poder realizar todas las tareas tales como: procesamiento, almacenamiento y la visualización, donde la tarjeta de adquisición de datos se reserva para la captura de las señales que vayan emitiendo los sensores del sistema. Si la velocidad y el número de señales no son parámetros críticos, esta es la configuración que mejor relación calidad/ precio proporciona.

Sin embargo, para aplicaciones que requieran de entornos industriales, con una exigencia mayor, debemos descartar esta configuración. Esto es así, porque tiene muchas limitaciones con respecto a temas tan diversos como: inmunidad a los ruidos, niveles de refrigeración, slots limitados, etc... En contraposición, aporta unos elevados niveles de capacidad de visualización, y cálculo avanzado, además de poseer un soporte para herramientas de programación con gran potencia.

El otro tipo de configuración, basado en instrumentos independientes de adquisición, habitualmente se usa en aplicaciones más exigentes, como realizar una captura de muchas variables casi sin márgenes de error. Con todo esto, la conclusión es que se consiguen unas mejores prestaciones pero a un precio muy superior.

Por último, está la configuración en módulos, que reduce el coste de los instrumentos autónomos, sin perder robustez, flexibilidad y potencia. Una de las ventajas que poseemos es que actualmente se fabrican en estándares, los cuales están muy integrados en la industria.

## 3.2 Componentes y parámetros de las Tarjetas de Adquisición de Datos

Este tipo de dispositivos son tarjetas de circuito impreso que se conectan al computador a través de las ranuras de expansión. Por normal general, se conectan a través del bus PCI, siendo el bus de comunicación con dispositivos periféricos que más se usa.

Las tarjetas de adquisición van desde las más sencillas compuestas únicamente por un hardware de adquisición que convierte una salida analógica en digital a otras más complejas, las cuales son capaces de realizar un tratamiento de los datos a través de un procesador especializado.

También existen otras tarjetas de adquisición que se consideran propiamente como instrumentos, dándoles el nombre de instrumentos en tarjeta. Funcionan gracias a que aprovechan la capacidad de comunicación y representación de datos del computador, sin embargo no pierden las características que les permite funcionar como instrumento autónomo.

El elemento central de una tarjeta de adquisición está compuesto por los circuitos analógicos de entrada y el conversor A/D. Además podemos observar los circuitos analógicos de entrada que incluyen un multiplexor, un amplificador de ganancia programable y un circuito de muestreo y retención; a continuación se encuentra el propio convertidor A/D.

### **Parámetros más importantes de las Tarjetas de Adquisición de Datos (TAD):**

- **Número de entradas.** Es el número de canales de entrada disponibles de la tarjeta. Es necesario conocer el número de variables que se va a considerar, por lo que esta característica es crítica para el diseño de la instalación. Se podría llegar a aumentar el



número de entradas en cierto momento, si resulta que con el paso del tiempo es necesario tener en cuenta otras variables. Habría que realizar la instalación de otra tarjeta de adquisición de datos, más una posterior sincronización con las tarjetas previamente instaladas. Sin embargo, no se aconseja incorporar más de tres tarjetas dada la escasa refrigeración. Esto se soluciona con la incorporación de PC industriales.

Existen dos modelos para la captura de las señales de entrada. En primer lugar sería utilizar un único convertidor A/D compartido entre varias entradas o utilizar convertidores independientes en cada entrada analógica. Para el primer caso, se resuelve mediante el uso de un multiplexor que seleccionara la entrada que corresponda. El otro caso se soluciona a través de un muestro simultáneo.

- **Configuración de las entradas analógicas.** Existen dos configuraciones:

- Entradas referidas a masa. Un terminal de entrada en todos los canales está referido a la tierra del sistema de adquisición, donde el otro se conecta a la entrada del sensor. Es una configuración que se puede utilizar si la diferencia de tensión entre la entrada a la masa del sistema de adquisición y el común analógico no sea significativo. Su principal uso lo encontramos en el tratamiento de señales de nivel alto donde exista un error introducido por la señal en modo común despreciable.
- Entradas en modo diferencial. Aquí no existe ningún terminal referido a masa. Los dos terminales de entrada se corresponden con los dos terminales de entrada que tenemos en la tarjeta de adquisición de datos. Como principal ventaja, nos permite operar a niveles muy pequeños de señal, eliminando la casi totalidad del ruido. El único aspecto negativo, es que al necesitar dos terminales, disminuimos el número de entradas que podemos capturar.

Es importante conocer el valor de impedancias de entrada y el sistema de protección que posea la tarjeta contra tensiones excesivas.

- **Mecanismo de inicio de captura (disparo).** Normalmente la adquisición se hace vía software, pero cabe la posibilidad en unos determinados modelos de tarjetas de adquisición de hacerlo externamente, gracias a una entrada especial denominada de disparo externo. Otros métodos más complejos contemplan el disparo analógico que se basan en la presencia de determinados niveles analógicos introducidos por la entrada de disparo.

- **Velocidad de adquisición.** Sin duda, uno de los factores que más críticos a la hora de seleccionar un modelo de tarjeta de adquisición de datos. Se define como la velocidad máxima con que el hardware de adquisición realiza la toma de muestras, siendo justo lo inverso al tiempo de adquisición. No es lo mismo al tiempo de conversión del convertidor A/D, puesto que este no tiene en cuenta múltiples factores relacionados con retardos. Es algo lógico que el aumentar este parámetro influye directamente en el precio, ya que proporciona una mayor calidad de definición en el tiempo aunque aumenta el flujo de datos hacia el procesador.

- **Resolución.** Está íntimamente ligado con la precisión de la medida que se quiera obtener.

- **Exactitud.** Se suele especificar como el porcentaje del valor de fondo de escala o en número de bits, donde un 0,01% corresponde a tarjetas de alta gama. Aquí se recogen todos los errores que están mayoritariamente en el circuito analógico de entrada. Algunas tarjetas presentan la posibilidad de realizar auto-calibración del conversor A/D, eliminando los errores de offset y de ganancia de cada canal de entrada.

- **Margen de entrada.** Es un parámetro bastante intuitivo, donde lo podemos definir como los límites de tensión de entrada de la tarjeta. Existen dos configuraciones:

- Unipolares, donde sólo pueden tener niveles de tensión positiva, por ejemplo: 0 a 10 V
- Bipolares, permiten las dos polaridades, por ejemplo: -10 a 10 V
- **Tipo de convertidor A/D.** Dependerá de las prestaciones de la tarjeta.
- **Transferencia de datos.** Se pueden clasificar en: DMA, interrupciones y programada.

### 3.3 Tarjetas de Adquisición de datos de National Instruments

Las dos Tarjetas de Adquisición de Datos (TAD) del laboratorio, eran existentes por lo que el proceso de selección no ha sido realizado. Sin embargo se ha tenido que adaptar el proyecto a sus características.

La primera TAD es el producto NI 9219, el cual es un módulo universal de la serie C, de la compañía National Instruments.

Posee 4 canales analógicos con una resolución de 24 bits, pudiendo ser capaz de medir entre los rangos de  $\pm 60\text{V}$  y  $\pm 25\text{mA}$ . Son unos rangos estándares que no delimitan en la elección de los sensores para medir las señales.

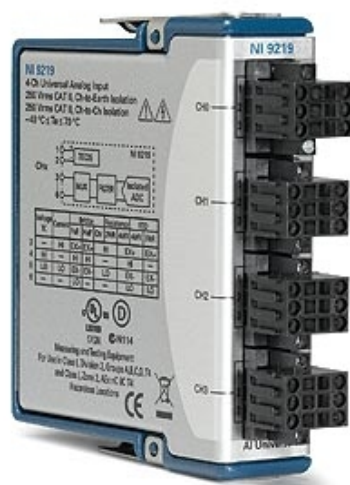


Figura 11. Tarjeta de Adquisición NI 9219. [9]

El otro producto, también de la compañía National Instruments, es la tarjeta de adquisición NI 9201. Posee 8 canales analógicos con un rango de medida de  $\pm 10V$  y 12 bits de resolución. La principal diferencia entre ambas es que la tarjeta de adquisición 9219 utiliza la configuración de terminales en modo diferencial, mientras que el otro modelo sólo es capaz de usar las entradas referidas a masa con todas las implicaciones que ello conlleva y que previamente se han mencionado en el apartado 3.2 de la presente memoria.

### 3.4 Entorno de programación LabVIEW.

Dado que se han utilizado las tarjetas de adquisición de datos de National Instruments, se ha tenido que trabajar con su software, especialmente diseñado para ello. El lenguaje y a la vez entorno de programación gráfica en el que se podrán crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla es LabVIEW, acrónimo de **L**aboratory **V**irtual **I**nstrument **E**ngineering **W**orkbech.

En un principio, LabVIEW estaba orientado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos que se usaban en el desarrollo de sistemas de instrumentación, conocido como instrumentación virtual. Por este motivo, los programas que se crean en LabVIEW se guardan en ficheros llamados VI y con la misma extensión, que significa instrumento virtual.

A continuación se hará una pequeña descripción de cada una de las estructuras básicas del entorno que presenta LabVIEW a sus usuarios.

En primer lugar se debe hacer mención al aspecto visual que se observa nada más abrir el programa, donde queda dividido en dos ventanas muy diferenciadas. Estas dos partes en LabVIEW se llaman Panel Frontal y Diagrama de Bloques respectivamente.

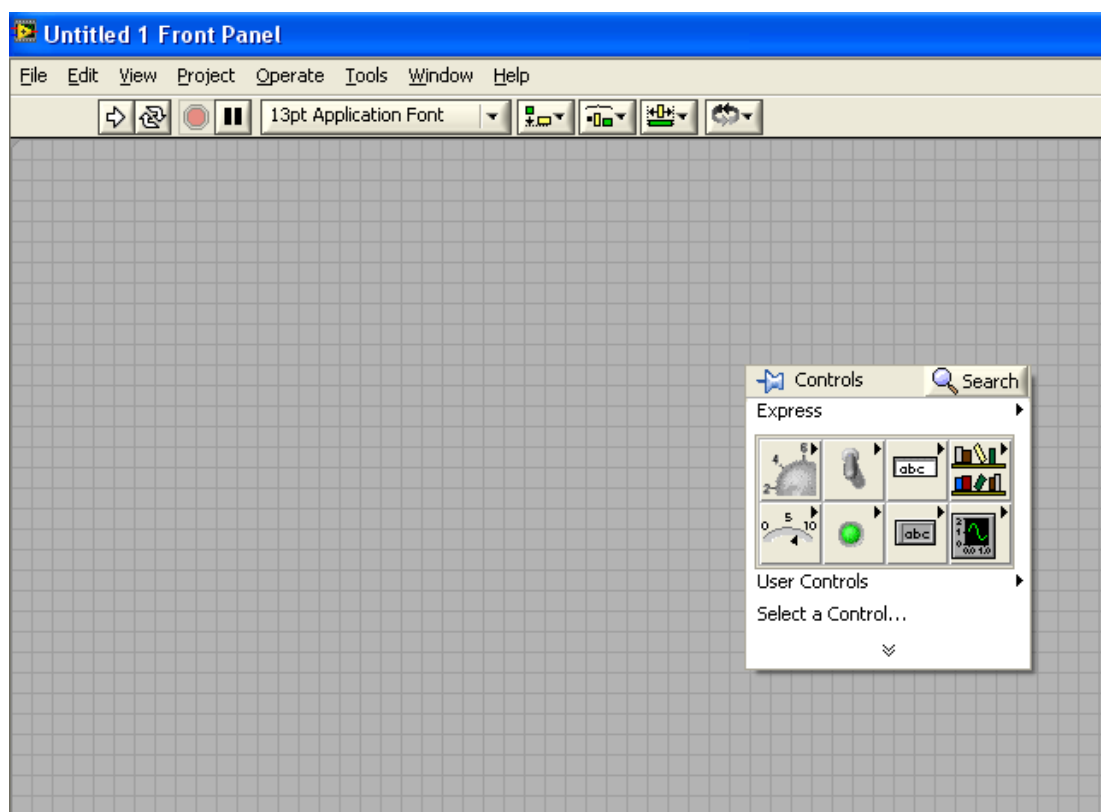


Figura 12. Panel Frontal LabVIEW

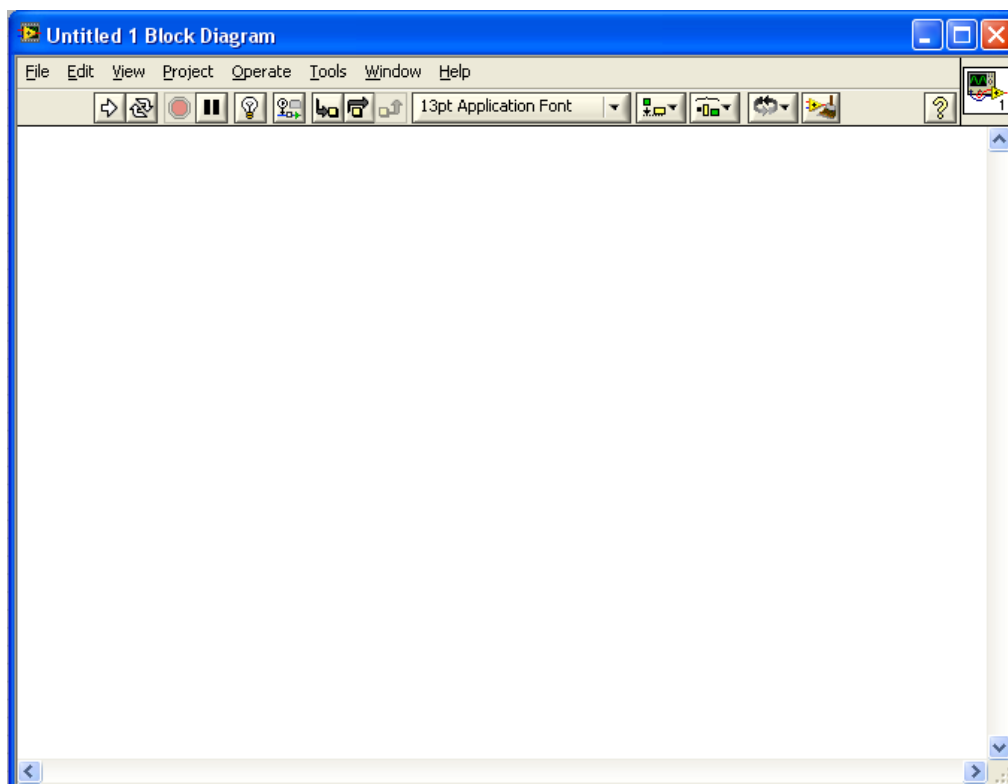






Figura 13. Diagrama de bloques

El Panel Frontal y el Diagrama de Bloques estarán conectados a través de los terminales que se configuren tales como entradas o salidas de datos. El Panel Frontal es el encargado de mostrar en pantalla los indicadores y controles que se hayan programado, el usuario conseguirá a través de ella observar los indicadores o realizar algún control sobre el proceso, una vez que esté el programa en funcionamiento. Con lo que el usuario final del mismo, tan sólo tendría que conocer las entradas y las salidas de su sistema, sin la necesidad de conocer el lenguaje de programación, LabVIEW. Sin embargo, en el Diagrama de Bloques se permite el desarrollo y la creación del software que se quiera realizar, donde gracias a todas las funciones existentes es posible.

En la parte superior de las ventanas, se encuentra una barra que posee varias herramientas con las que trabajar y que proporcionarán muchas opciones para poder realizar los programas con todas las especificaciones que se requieran:

-  Con estas herramientas, se controla la ejecución de un programa en LabVIEW. Se describirá el funcionamiento de cada uno de los botones de esta herramienta de izquierda a derecha. Con el primer botón, ejecutará el programa diseñado sólo en el caso de que no existan errores, donde el icono variará a  si existe algún problema, que habrá que resolver para poder ejecutar de nuevo. Con el segundo botón, el programa se ejecutará constantemente, pero no es óptima su utilización, dado que es preferible el uso de bucles por vía software. Con el tercer botón se abortará nuestro programa y cuando se permita, realizar una pausa.

-  Este conjunto de botones se utilizan para la depuración de nuestros programas. El primero de ellos del cual haremos mención de su utilidad, estaría situado en el segundo lugar de izquierda a derecha, es una herramienta para ralentizar la ejecución permitiendo ver el camino que siguen los datos en el camino. Con los otros tres botones que están en gris, se consigue poder ejecutar nuestro programa paso a paso.

-  Estos botones son muy útiles cuando existen muchas funciones y objetos relacionados, ya que la función de estos es alinear, distribuir, controlar el tamaño, agrupar y ordenar.

Para poder colocar las funciones que se necesitan en el Diagrama de Bloques y terminales en el Panel Frontal, se tienen las denominadas paletas de funciones y de controles.

Si se quiere desplegar estas paletas, tan sólo hay que hacer click con el botón derecho del ratón en alguna zona donde no haya ningún bloque existente.

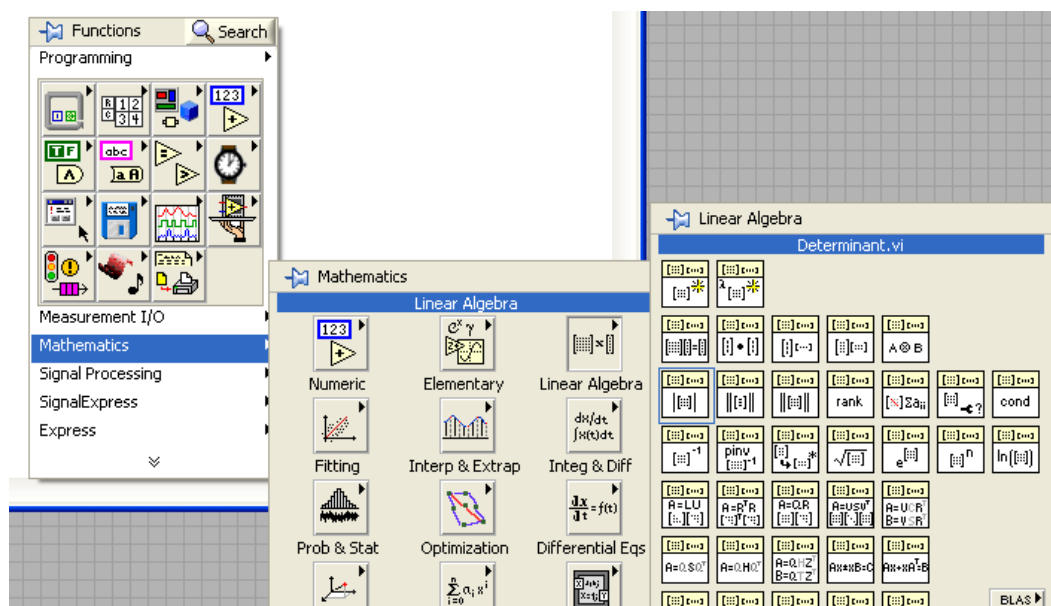


Figura 14. Funciones en LabVIEW

Para la función específica, adquisición de datos en tiempo real, en la cual se centra el objetivo del presente capítulo del proyecto está la función *Measurement I/O*.

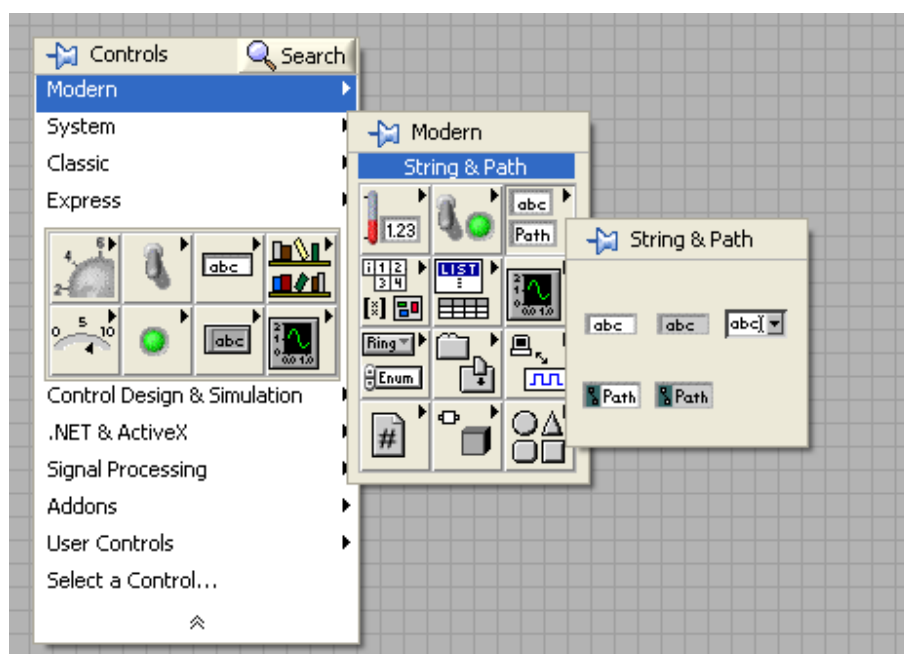


Figura 15. Paleta de controles



En la figura 15 está representada la paleta de controles con todos los terminales existentes en LabVIEW. Dichos terminales se dividen en controles e indicadores. Los primeros hacen referencia a las entradas de datos, mientras que los indicadores a las salidas.

## 3.5 Software desarrollado

### 3.5.1 Introducción

Se ha considerado que lo más óptimo es realizar un fichero VI por cada una de las variables que se quieren medir. En un principio se barajó la idea de crear un fichero donde se pudiesen obtener todas las variables de dicha instalación, como por ejemplo en la bomba centrífuga multicelular horizontal. Se descartó esta opción dado que si se realizan las medidas independientes, es muy fácil después integrarlos en un fichero donde se pueda realizar las diferentes medidas de variables, proporcionando bastante versatilidad para otras instalaciones que todavía no se han implantado en el laboratorio de tecnologías apropiadas.

Otro ejemplo sería el de la bomba manual de Mecate, en principio, solamente será necesario tener datos sobre el volumen de agua, pero en algún momento podría ser interesante incluir un sensor que mida la presión en una determinada parte de la instalación, por lo que sería fácilmente incorporado. Sin embargo si se hubiese realizado un fichero único y exclusivo para la bomba de Mecate, donde el software estuviese más integrado y con una mayor especialización del código junto con una mayor complejidad en el formato gráfico y visual podría resultar una desventaja para posibles futuras mejoras. Es por ello, que se ha insistido en una sencillez en toda la programación que se ha implantado en LabVIEW, principalmente para que se le pueda modificar fácilmente y sea muy rápido de comprender el código.

Por todo ello lo que se ha conseguido con cada fichero es conseguir medir las variables en tiempo real, guardarlas en unos ficheros de texto compatibles con el programa

de Microsoft Office Excel, donde es posible abrirlos y utilizar todas las características que ofrece para el tratamiento de datos, como por ejemplo gráficas y tratamiento matemático que se pueda aplicar sobre ellos.

### 3.5.2 Sensor de presión en LabVIEW

Para el sensor de presión, se decidió utilizar la tarjeta de adquisición de datos NI 9219, debido principalmente a la capacidad que tiene para evitar el ruido en las señales de entrada, además de que el propio sensor posee una salida diferencial. Dicha señal, será la señal de salida del sensor, que será de un rango que oscilará entre 0 y 212 mV, dependiendo de la presión a la que esté sometido.

El Panel Frontal de este instrumento virtual consistirá en dos áreas, que poseen agrupadas dentro de las mismas, tres bloques de control. Uno de los bloques, que se han introducido es el *WaveformGraph*:

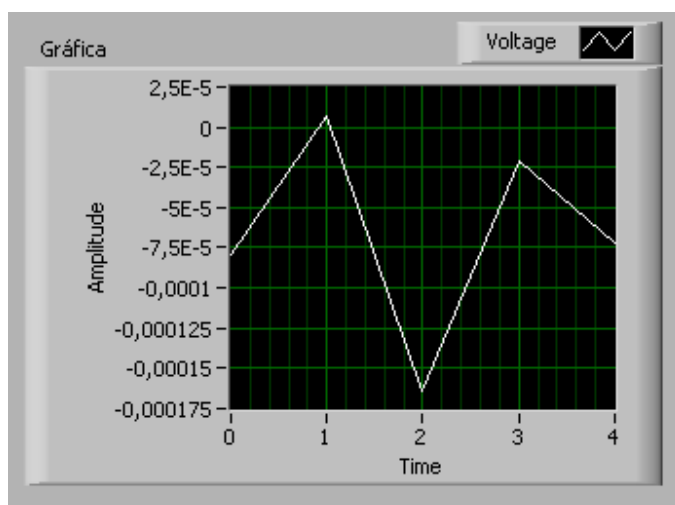


Figura 16. WaveformGraph de presión

Con este elemento se mide directamente la salida del sensor para saber antes de tratar la señal, qué ocurre. Con esto se comprueba si el comportamiento del instrumento virtual diseñado está actuando como debería o si ocurre algún problema, ya que se conoce la ecuación de salida del sensor de presión. Por lo tanto se podría considerar que actúa

como un polímetro digital. En la figura 16 se ha realizado, se ha realizado una toma de datos sin ningún tipo de entrada, para ver aproximadamente cómo se comporta nuestra tarjeta de adquisición frente al ruido, dándonos cuenta del gran rechazo que tiene frente al ruido.

Otros dos objetos muy importantes en este Panel Frontal, son estos indicadores de la figura 17:

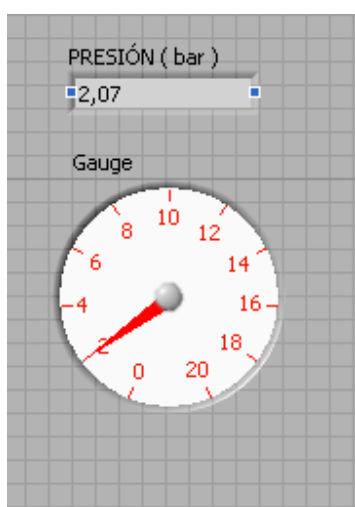


Figura 17. Indicadores visuales de presión

El primero de ellos dará la cifra exacta de la presión a la que esté sometido el sensor, mientras que el segundo informará de forma mucho más visual y rápida de cómo se encuentra la presión en ese preciso instante.

### 3.5.3 Sensor de volumen en LabVIEW

Con este sensor se ha seleccionado la tarjeta de adquisición de datos 9219 de National Instruments. En este caso, se ha optado por esta opción debido a que el sensor de volumen es capaz de generar un pulso que sobrepasa el rango de medida de la TAD NI 9201. Esto se podría realizando un circuito eléctrico como medida de protección, pero que eliminaría facilidad en la instalación y montaje del SAD. Si el laboratorio multidisciplinar tuviese gran cantidad de variables que requiriesen de la necesidad del uso de la tarjeta de

---

Instrumentación, adquisición de datos para laboratorio multidisciplinar y motorización de bomba manual de mecate.

adquisición NI 9219 debido a sus características, se podría considerar el uso de la tarjeta NI 9201 junto con medidas auxiliares mencionadas. Ya que se ha desarrollado el fichero para poder obtener la medida de volumen, también se incluyó por vía software la opción de conocer a la vez el caudal de nuestro sistema.

En primer lugar, en este Panel Frontal, también se ha incluido un *WaveformGraph* (figura 18), al igual que antes, servirá para conocer exactamente la salida de nuestro sensor:

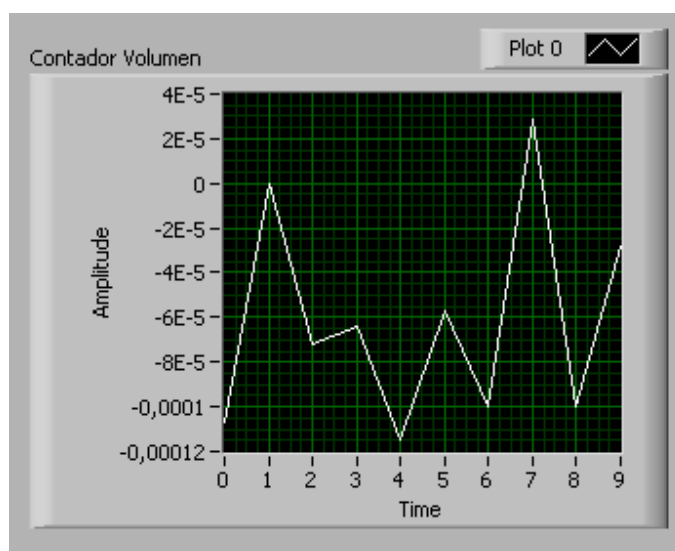


Figura 18. WaveformGraph de sensor de volumen

El *Waveform Chart* introducido, figura 19, tienen la función de mostrar los pulsos digitales que se han diseñado por vía software para poder trabajar óptimamente, ya que trabajar con los pulsos analógicos que emite el sensor es más complejo.

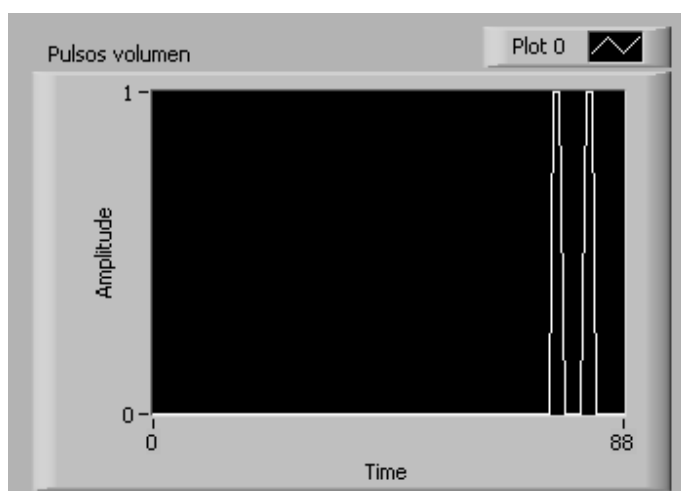


Figura 19. Waveform Chart de Volumen

Una vez obtenido dichos pulsos, que representan los litros medidos, se puede hacer una recreación más gráfica, en forma de un depósito que se va llenando conforme la instalación recibe mayor cantidad de agua.

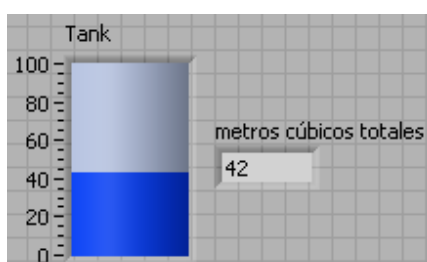


Figura 20. Recreación gráfica en forma de tanque de agua.

Por último, la aplicación que se realizó para poder obtener también el caudal por vía software:

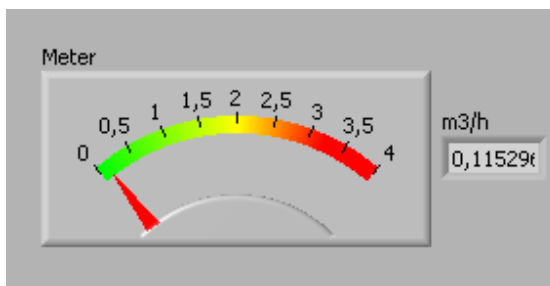


Figura 21. Caudalímetro por vía software

### 3.5.4 Sensor de caudal en LabVIEW.

El sensor de caudal no limita la elección de la TAD, por lo que lo más adecuado sería utilizar la tarjeta NI 9201, que es la más económica y es capaz de alcanzar una velocidad de adquisición de datos superior a la NI 9219. Lo cual es importante ya que se podrá registrar rápidamente las variaciones que sucedan en el caudal de nuestra aplicación, la bomba centrífuga.

El Panel Frontal de este programa es bastante simple y sencillo, donde sólo se ha incluido un pequeño gráfico que abarca un rango de 0 a 150 l/ min, indicando qué caudal transcurre a través de nuestro sensor.

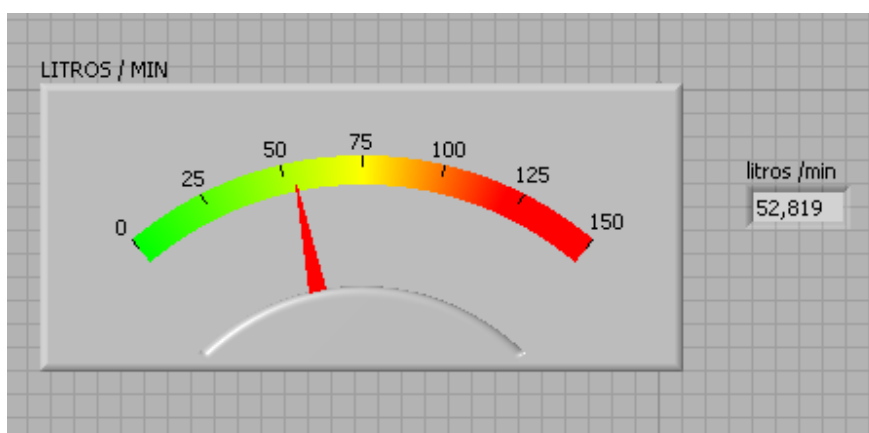


Figura 22. Indicador de sensor de caudal

### 3.5.5 Aplicación en Microsoft Excel

A continuación se realiza una simulación con nuestro sensor de presión, donde se describirá una de las aplicaciones que se han desarrollado, para guardar todos los datos obtenidos y su posterior tratamiento. Sólo se desarrollará con un sensor, dado que todos trabajarán exactamente igual y sería volver a incidir sobre el mismo concepto.

Todo esto es posible gracias al bloque *WriteToMeasurement File*:

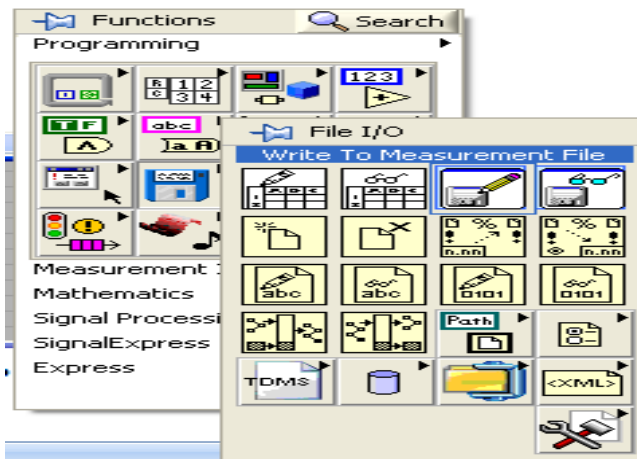
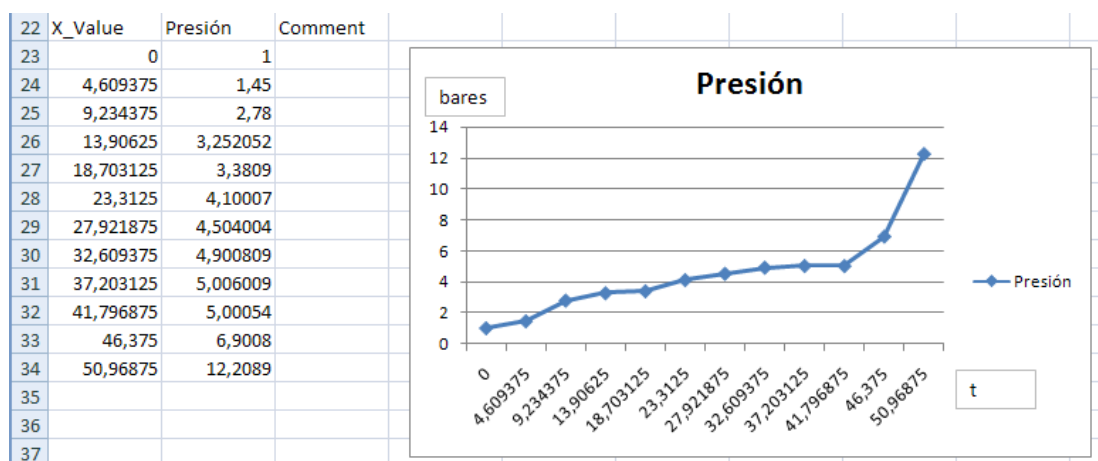


Figura 23. Bloque Write to Measurement File

Permitirá guardar todos los datos en un fichero de texto compatible tanto con Excel como con XML, proporcionando todos los valores obtenidos en una única columna, con una cabecera que describirá diferentes datos tales como : fecha, autor, tiempo, canal...

Una vez guardado el fichero, se puede ejecutar con el programa Microsoft Excel. Siendo el resultado final, el de la gráfica 2:



Gráfica 2. Ejemplo de aplicación en Microsoft Excel





# Capítulo 4

## Selección y montaje de un motor para la bomba de Mecate

### 4.1 Objetivo

El objetivo final que se quiere lograr con el montaje e instalación de un motor para la bomba manual mecate, es caracterizar y simular el comportamiento de una persona extrayendo agua a través de la misma.

Para simularlo, habrá que ajustarse a unos rangos determinados de dos parámetros en concreto:

- Frecuencia
- Potencia

Estos dos parámetros han sido estudiados con anterioridad en el proyecto fin de carrera de Sergio Ruiz Martín. De donde se extrae que la frecuencia natural a la que se mueve la bomba manual mecate variará en un rango aproximado entre los 0,7 Hz y los 1,3 Hz. Mientras que la potencia desarrollada por una persona de complexión normal se

encuentra entre los 50 W y los 100W, donde previsiblemente, a lo largo del tiempo de manipulación de la bomba disminuirá su potencia.

Para concluir, también sería interesante ser capaz de describir el comportamiento que pueda tener un niño al utilizar la bomba, donde se estima que desarrolla una potencia aproximada de 20 W.



Figura 24. Bomba manual de Mecate del laboratorio. [3]

## 4.2 Selección del motor en el mercado

La bomba manual de mecate posee una bicicleta que está instalada previamente gracias a Sergio Ruiz Martín, por lo que puede llegar a ser útil utilizar esa relación existente entre los piñones que existen en la bicicleta y el plato grande que está conectado mediante la cadena de transmisión para poder alcanzar la frecuencia necesaria, ya que se ahorraría en la utilización de reductoras o multiplicadoras externas.

En un principio se estimó que una buena opción sería utilizar el motor que posee un taladro comercial, donde su frecuencia es fácilmente modificable. Uno de los objetivos se podía cumplir, el de la frecuencia, a través del uso de una reductora. Pero el gran inconveniente y que no tuvo solución fue el poco par que es capaz de proporcionar un taladro comercial, donde apenas alcanza los 9 Nm como máximo a la velocidad más reducida de todo su rango, 50 revoluciones por minuto.

Si lo calculamos nos daría:

$$P = \quad T = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ rpm} \cdot 9 \text{ Nm}}{60} = 47.12 \text{ W [1.2]}$$

Siendo: P=Potencia (W)

= Velocidad angular (rad/s)

T= Par (Nm)

Por lo tanto, esta opción no es válida, ya que nunca se podría simular los 100 W de potencia que se necesitan. Esto junto con el precio de las reductoras, producían un gran sobre coste, quedando excluida como una posible opción.

Una vez descartado el taladro como posible motor, se pensó en la utilización del motor de una persiana, ya que poseen un elevado par, sin embargo justo al contrario que el taladro, poseen una velocidad inferior al rango que requerido, por lo que sería necesario considerar el uso de una multiplicadora. Un aspecto importante con este tipo de motor, es que la multiplicación que habría que realizar se podría llevar a cabo gracias al juego de piñones de la bicicleta existente, o un juego estándar se incorporase.

Con los diferentes modelos de motores de persiana, se realizaron a través de una aplicación en Excel, las comprobaciones necesarias para ver si los dos requisitos de

frecuencia y potencia que previamente se describieron como objetivos, se lograban alcanzar.

Para realizar los cálculos de la multiplicadora, se consideró un plato grande de 53 dientes, que se puede encontrar en cualquier tienda a un precio razonable, junto con un cassette de bicicleta de 20 a 11 dientes. Las relaciones existentes entre ambos, dan lugar a las relaciones que aparecen detalladas en las distintas gráficas, las cuales se utilizaran tanto como multiplicadora o reductora, dependiendo de qué motor se esté describiendo.

| Plato | Piñon | Relación de multiplicación |  |
|-------|-------|----------------------------|--|
| 53    | 11    | 4,818181818                |  |
|       | 12    | 4,416666667                |  |
|       | 13    | 4,076923077                |  |
|       | 14    | 3,785714286                |  |
|       | 15    | 3,533333333                |  |
|       | 16    | 3,3125                     |  |
|       | 20    | 2,65                       |  |
|       |       |                            |  |

Gráfica 2. Relaciones de multiplicación/reducción

Con estos datos se buscó un motor comercial de persianas, aplicando nuestros valores como podemos ver en la siguiente gráfica 3:

|               | frec (rpm) | Par (Nm) | Potencia   | Multiplicación | frec (rpm) | Par (Nm)   | f (Hz) |
|---------------|------------|----------|------------|----------------|------------|------------|--------|
| Persiana      | 12         | 100      | 125,663706 | 4,81818182     | 57,8181818 | 20,754717  | 1,0    |
|               |            |          |            | 4,41666667     | 53         | 22,6415094 | 0,9    |
|               |            |          |            | 4,07692308     | 48,9230769 | 24,5283019 | 0,8    |
|               |            |          |            | 3,78571429     | 45,4285714 | 26,4150943 | 0,8    |
|               |            |          |            | 3,53333333     | 42,4       | 28,3018868 | 0,7    |
| Precio: 120 € |            |          |            | 3,3125         | 39,75      | 30,1886792 | 0,7    |
|               |            |          |            | 2,65           | 31,8       | 37,7358491 | 0,5    |

Gráfica 3. Aplicación para motor de persiana 1

Al observar detenidamente gráfica 3, la potencia es un poco superior aunque podría llegar a ser asumible el error, sin embargo el motor de persiana no es capaz de suministrar

la frecuencia necesaria. Se llegó incluso a valorar la opción de incluir otro motor de persiana, siendo este otro modelo de diferentes características:

|              | frec (rpm) | Par (Nm) | Potencia   | r          | frec (rpm) | Par (Nm)   | f (Hz) |
|--------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|--------|
| Persiana     | 12         | 50       | 62,8318531 | 4,81818182 | 57,8181818 | 10,3773585 | 1,0    |
|              |            |          |            | 4,41666667 | 53         | 11,3207547 | 0,9    |
|              |            |          |            | 4,07692308 | 48,9230769 | 12,2641509 | 0,8    |
|              |            |          |            | 3,78571429 | 45,4285714 | 13,2075472 | 0,8    |
|              |            |          |            |            |            |            |        |
|              |            |          |            | 3,53333333 | 42,4       | 14,1509434 | 0,7    |
| Precio: 74 € |            |          |            | 3,3125     | 39,75      | 15,0943396 | 0,7    |
|              |            |          |            | 2,65       | 31,8       | 18,8679245 | 0,5    |

Gráfica 4. Aplicación para motor de persiana 2

Este modelo podría llegar a caracterizar el comportamiento humano al extraer agua con una bomba manual de agua con una potencia de 62,83 W. Sin embargo, al igual que el anterior modelo de motor de la gráfica 3, no es capaz de suministrar la frecuencia necesaria.

Con estos dos motores, podrían simularse dos potencias que se encuentran dentro del rango que se buscaba, aún teniendo el inconveniente de la frecuencia. Sin embargo, otro factor negativo para seleccionarlo como alternativa, es su precio es bastante elevado:  $120 \text{ €} + 74 \text{ €} = 194 \text{ €}$ , sin tener en cuenta el coste relacionado con el correcto montaje y adaptación de los sistemas para el correcto funcionamiento. Cada motor sería capaz de caracterizar nuestro sistema a tan sólo una potencia. Esta opción se barajó hasta el último momento, en el caso de que no se encontrara ninguna solución más óptima.

El tercer punto de estudio, fueron los motores propiamente dichos, sin ningún tipo de aplicación específica. Al ver la limitación que poseían las reductoras del mercado que fueron preseleccionadas en cuanto al par máximo, se llegó a la conclusión de que lo mejor era volver a buscar motores que tuviesen similares características de los de las persianas, pero que la bicicleta fuese capaz de realizar la reducción o multiplicación necesaria.

Después de la intensiva búsqueda a través de internet, en las páginas webs de los mayores distribuidores de componentes industriales, se encontraron dos motores que a priori podrían desarrollar los objetivos, donde una vez introduciéndolos en nuestra hoja de cálculo, se obtuvo:

| frec (rpm)        | Par (Nm) | Potencia   | Reductora  | frec (rpm) | Par (Nm)   | f (Hz) |
|-------------------|----------|------------|------------|------------|------------|--------|
| 270               | 3,46     | 97,8291952 | 4,81818182 | 56,0377358 | 16,6709091 | 0,9    |
|                   |          |            | 4,41666667 | 61,1320755 | 15,2816667 | 1,0    |
|                   |          |            | 4,07692308 | 66,2264151 | 14,1061538 | 1,1    |
|                   |          |            | 3,78571429 | 71,3207547 | 13,0985714 | 1,2    |
| <b>Código</b>     |          |            |            |            |            |        |
| <b>RS 717-922</b> |          |            | 3,53333333 | 76,4150943 | 12,2253333 | 1,3    |
| Precio            | 230 €    |            | 3,3125     | 81,509434  | 11,46125   | 1,4    |
|                   |          |            | 3,11764706 | 86,6037736 | 10,7870588 | 1,4    |

Gráfica 5. Búsqueda de motor 1

| frec (rpm)    | Par (Nm) | Potencia   | Reductora  | frec (rpm) | Par (Nm)   | f (Hz) |
|---------------|----------|------------|------------|------------|------------|--------|
| 226           | 4,07     | 96,3233252 | 4,81818182 | 46,9056604 | 19,61      | 0,8    |
|               |          |            | 4,41666667 | 51,1698113 | 17,9758333 | 0,9    |
|               |          |            | 4,07692308 | 55,4339623 | 16,5930769 | 0,9    |
|               |          |            | 3,78571429 | 59,6981132 | 15,4078571 | 1,0    |
| <b>Código</b> |          |            | 3,53333333 | 63,9622642 | 14,3806667 | 1,1    |
| Precio        | 230 €    |            | 3,3125     | 68,2264151 | 13,481875  | 1,1    |
|               |          |            | 3,11764706 | 72,490566  | 12,6888235 | 1,2    |

Gráfica 6. Búsqueda de motor 2

La opción es excesiva para el presupuesto del que se dispone, con la desventaja de que solamente se pueden simular a 100 W de potencia. Como dato positivo, es que con respecto a los motores previos, es la mejor aproximación en frecuencia. Alcanzando un rango bastante óptimo para la caracterización de la bomba manual de mecate.

También hacer mención a un presupuesto que se pidió a la compañía *Elmeq motor*, que realizó de un producto suyo, que era capaz de reunir las características necesarias para la consecución de los objetivos del presente proyecto.

| Ref Elmeq | Descripción                                      | Ctd | Precio Unitario | Plazo Estimado de Entrega | Entregas  |
|-----------|--|-----|-----------------|---------------------------|-----------|
| 1-7061    | BG44X25SI/PLG42S 24V/0256<br>+ CAB BG 44 12 pins | 1   | 637,00          | 1 semana aprox            | 1 entrega |
|           |  | 2   | 581,00          |                           |           |

Transporte :10 €

Figura 25. Presupuesto Elmeq motor

El último tipo de motores que se analizó, fueron los destinados a convertir una bicicleta estándar en eléctrica. Actualmente se pueden llegar a observar en las calles. En principio parece una solución bastante viable y lógica, debido a que una bicicleta estándar se moverá aproximadamente en un rango donde su máxima frecuencia de giro será de aproximadamente 5 Hz. Con esta frecuencia de máxima, la reductora que se había diseñado en un comienzo con la bicicleta y el conjunto de piñones y cadena, gráfica 2, podría llegar a funcionar correctamente, donde se tendría que analizar el otro parámetro de estudio, la potencia proporcionada.

Una ventaja que proporciona este sistema de motorización, es que al ser para bicicleta específicamente, en principio, no sería necesaria una instalación externa para instalar motor, ya que se podría fijar nuestro motor al eje trasero o delantero de la bicicleta existente.

Uno de los problemas fundamentales de tipo de motores, es que las marcas comerciales venden el conjunto de bicicleta + motor, todo integrado. Lo complicado de la búsqueda de este modelo de motor, fue descubrir un distribuidor online que proporcionara solamente el motor y sus accesorios, para evitar el coste de la compra de una bicicleta nueva.

Una vez localizado un distribuidor que se amoldaba a nuestras necesidades, hizo una oferta de 269 €por lo siguiente:

- Motor ultraligero (solo 3kg) 36v 350w brushless de alto rendimiento.

- Controlador - Microprocesador de 14A.
- Empuñaduras.
- Frenos con interruptor.
- Acelerador con indicador de Batería.
- Sensor de pedaleo asistido.

En la gráfica 7, se muestran las características más importantes del motor. En la cual se extraen los datos más importantes para el proyecto y que posteriormente se utilizarán para demostrar el por qué de que es una opción válida.

| V  | A     | W       | mN.m   | rpm | W         | %    |
|----|-------|---------|--------|-----|-----------|------|
| 36 | 1,417 | 51,012  | 910    | 241 | 22,9554   | 45   |
| 36 | 1,733 | 62,388  | 1383   | 241 | 34,874892 | 55,9 |
| 36 | 2,117 | 76,212  | 1943,3 | 238 | 48,470832 | 63,6 |
| 36 | 2,562 | 92,232  | 2583,3 | 232 | 62,71776  | 68   |
| 36 | 3,079 | 110,844 | 3336,7 | 231 | 80,694432 | 72,8 |
| 36 | 3,662 | 131,832 | 4190   | 227 | 99,53316  | 75,5 |
| 36 | 4,3   | 154,8   | 5123   | 226 | 121,2084  | 78,3 |

Gráfica 7. Hoja de características motor de bicicleta

Los tres recuadros rojos que señalan tres filas de la gráfica 7, indican tres potencias que se han introducido a lo largo de la presente memoria como las más adecuadas para caracterizar la extracción de agua con la bomba manual de mecate:

- 20 W para un niño.
- 50 W para una persona adulta normal.
- 100 W para picos de potencia de persona adulta.

Por lo tanto, sólo queda utilizar esos datos para contrastarlos con la reductora de bicicleta que se ha utilizado previamente para ver si la bomba manual de Mecate también es capaz de girar en el rango requerido:



|      | frec (rpm) | Par (Nm) | Potencia   | r          | frec (rpm) | Par (Nm)   | f (Hz) |
|------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|--------|
| Niño | 241        | 0,9      | 22,7137149 | 4,81818182 | 50,0188679 | 4,33636364 | 0,8    |
|      |            |          |            | 4,41666667 | 54,5660377 | 3,975      | 0,9    |
|      |            |          |            | 4,07692308 | 59,1132075 | 3,66923077 | 1,0    |
|      |            |          |            | 3,78571429 | 63,6603774 | 3,40714286 | 1,1    |
|      |            |          |            | 3,53333333 | 68,2075472 | 3,18       | 1,1    |
|      |            |          |            | 3,3125     | 72,754717  | 2,98125    | 1,2    |
|      |            |          |            | 3,117      | 77,3179339 | 2,8053     | 1,3    |

Gráfica 8. Motor de bicicleta para niño

|        | frec (rpm) | Par (Nm) | Potencia   | r          | frec (rpm) | Par (Nm)   | f (Hz) |
|--------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|--------|
| Adulto | 238        | 1,943    | 48,4259752 | 4,81818182 | 49,3962264 | 9,36172727 | 0,8    |
|        |            |          |            | 4,41666667 | 53,8867925 | 8,58158333 | 0,9    |
|        |            |          |            | 4,07692308 | 58,3773585 | 7,92146154 | 1,0    |
|        |            |          |            | 3,78571429 | 62,8679245 | 7,35564286 | 1,0    |
|        |            |          |            | 3,53333333 | 67,3584906 | 6,86526667 | 1,1    |
|        |            |          |            | 3,3125     | 71,8490566 | 6,4361875  | 1,2    |
|        |            |          |            | 3,117      | 76,35547   | 6,056331   | 1,3    |

Gráfica 9. Motor de bicicleta para persona adulta normal.

|         | frec (rpm) | Par (Nm) | Potencia   | r          | frec (rpm) | Par (Nm)   | f (Hz) |
|---------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|--------|
| Adulto2 | 227        | 4,19     | 99,6021007 | 4,81818182 | 47,1132075 | 20,1881818 | 0,8    |
|         |            |          |            | 4,41666667 | 51,3962264 | 18,5058333 | 0,9    |
|         |            |          |            | 4,07692308 | 55,6792453 | 17,0823077 | 0,9    |
|         |            |          |            | 3,78571429 | 59,9622642 | 15,8621429 | 1,0    |
|         |            |          |            | 3,53333333 | 64,245283  | 14,8046667 | 1,1    |
|         |            |          |            | 3,3125     | 68,5283019 | 13,879375  | 1,1    |
|         |            |          |            | 3,117      | 72,8264357 | 13,06023   | 1,2    |

Gráfica 10. Motor de bicicleta para picos de potencia en persona adulta

Por lo que considerando despreciable la pérdida de potencia en la cadena, se puede llegar a la conclusión de que con este sistema se es capaces de caracterizar la bomba manual de Mecate a las tres potencias que se necesitaban: 20 W, 50 W y 100 W, y a una frecuencia que variará en el rango que necesitábamos que girase aproximadamente nuestro sistema: 0,7 a 1,3 Hz. Esto es posible ya que el kit del motor incluye un acelerador, con el cual se variará la velocidad de la bomba manual de Mecate. Además este acelerador incluye un accesorio, que resultará muy útil en posibles ensayos futuros, como es la opción de

mantener la velocidad constante de giro del motor con tan sólo pulsar un botón situado en el mango del acelerador.

### 4.3. Montaje e instalación

El motor de bicicleta para la bomba manual de Mecate, una vez seleccionado, es el que se observa en la figura 26:



Figura 26. Motor de bicicleta para bomba manual de Mecate

En la parte izquierda de la figura 26, con un recuadro rojo a su alrededor, encontramos la rosca que posteriormente se necesitará para poder utilizar el cassette de piñones.

Para alimentar el motor, será necesario el uso de baterías de 36 V, donde si se observa la gráfica 7, la máxima corriente a la que se va a someter son 3,662 A, por lo cual con un conjunto de tres baterías en serie de 7.0 Ah valdrá para que funcione correctamente.



Figura 27. Batería para motor de bicicleta

También se consideró la compra de otras tres baterías de 9.0 Ah de repuesto, debido al precio tan económico por el que las ofertaba el suministrador y para que llegado el momento de que las primeras baterías se agotasen, no esperar el tiempo que pueda tardar en cargarse y seguir con los experimentos que se estén realizando.

Para poder realizar una estructura para mantener el motor y sujetarlo correctamente, se ha considerado que provisionalmente la mejor opción era utilizar perfiles de aluminio, con una ventaja clara y es que no se tuvo que adquirir en ningún establecimiento ya que se encontraban unidades en el propio Departamento de Ingeniería Térmica y Fluidos.

Otro aspecto importante de este material es que permite completa libertad para poder realizar la estructura, ya que se puede modificar fácilmente la combinación de perfiles para alcanzar los requerimientos necesarios. La estructura final en perfil de aluminio que se montó e instaló para sostener el motor es:

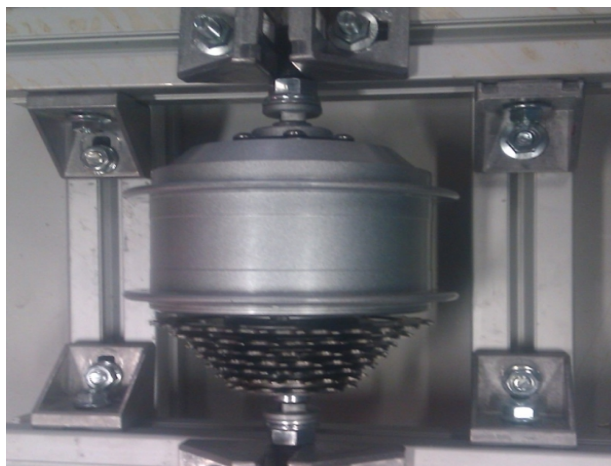


Figura 28. Estructura en perfiles de aluminio

Una vez que ya se realizó todo el soporte para el motor. Se dispuso a montar todos los elementos que son necesarios para la motorización de nuestra bomba manual de Mecate en el laboratorio de tecnologías apropiadas, que es donde se encuentra todo el banco de ensayo para bombas manuales.

En las figuras 29 y 30, se observan todos los elementos que componen la nueva bomba manual de mecate motorizada, junto con la cadena que transmitirá la potencia desarrollada:



Figura 29. Bomba manual de Mecate motorizada 1



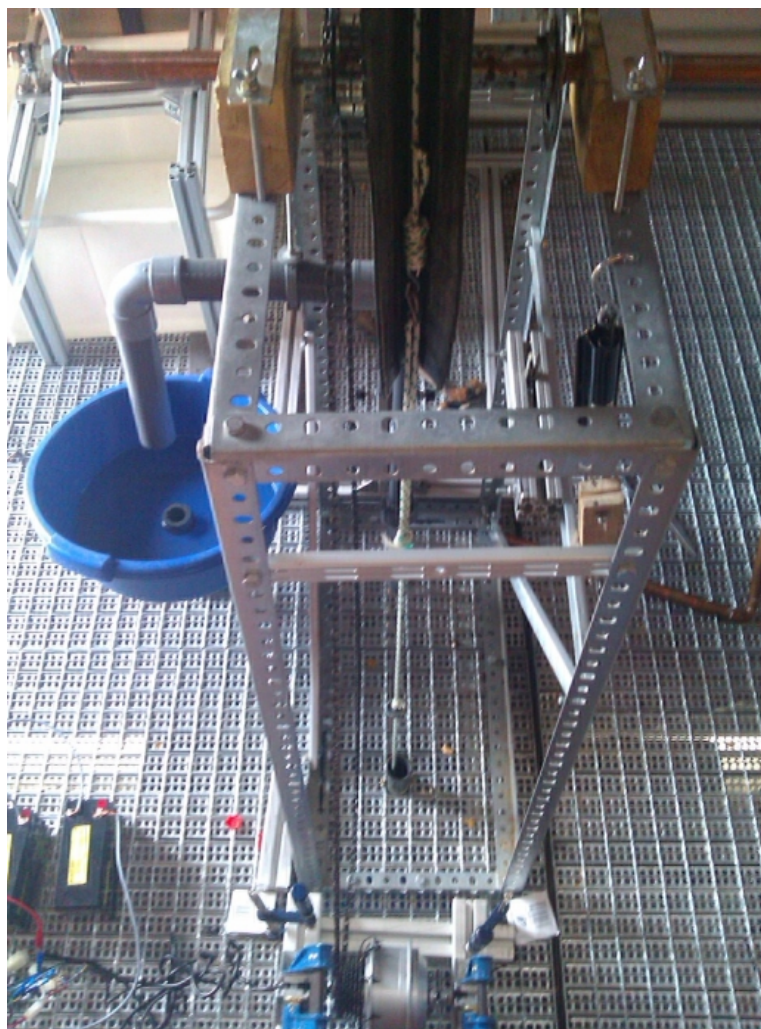


Figura 30. Bomba manual de Mecate motorizada 2

También se ha incorporado un polímetro digital a la salida de las baterías para poder conocer la corriente que están suministrando y hacer una caracterización sencilla para saber en qué valores aproximados se encuentran los valores de la potencia suministrada.

Se decidió mantener el plato de disco de 26 dientes que estaba instalado previamente en la bomba manual de Mecate, antes de montar toda la instalación para poder adjuntar nuestro plato de 53 dientes que se había tomado como referencia en los cálculos teóricos para que todo funcionase correctamente.

Esto se realizó así, para poder en primera instancia, sacar unas conclusiones que pudieran extrapolarse a los cálculos teóricos que se habían realizado. Con estos resultados se pretendía saber en qué medida las hipótesis y análisis previos eran adecuados o no, por si habría la necesidad de readaptar los cálculos a nuevos platos de disco o piñones especiales, modificando el planteamiento inicial de qué relaciones de reducción se emplearían.

Actualmente y tras numerosos ensayos, con el cassette de piñones que se le incorporó al motor, tal y como vimos en la figura 26, junto con el plato de disco de 26 dientes, incorporado a la rueda central que poseía la bomba manual de Mecate en el proyecto de Sergio Ruiz Martín, se llegó a la conclusión de que no es posible aumentar las revoluciones de la bomba manual de Mecate en el rango requerido, pero no debido al diseño de la motorización sino a la estructura que mantiene actualmente a la bomba manual.

Con la relación de reducción que se utilizó en estos ensayos, el motor debería conseguir que la rueda central de la bomba manual de Mecate lograra un movimiento de unas 60 revoluciones por minuto, donde al ser una relación de reducción más pequeña que la diseñada inicialmente, el motor debería girar a menos velocidad para alcanzarlo.

Aún así, se demostró, que tan sólo fue posible alcanzar unas 40 revoluciones por minuto medidas en la rueda central de la bomba manual de Mecate, gracias al tacómetro óptico del cual se dispone.

Estas 40 revoluciones están muy por debajo del rango teórico que se observa en la gráfica 7, debido a las deficiencias que posee la estructura.

La rueda de la bomba manual de mecate, que se hace girar con el motor seleccionado para extraer el agua, al someterla a un régimen de giro por encima de 40

revoluciones por minuto, somete a la instalación a tal esfuerzo que provoca un movimiento general en toda la estructura dando lugar a que nuestra cadena transmisora se salga, interrumpiendo el experimento.

Por este grave problema se ha decidido posponer todo el montaje e instalación de nuestro disco de 53 dientes para sustituir al anterior, además de impedir la caracterización de toda la instalación ya que actualmente no se pueden realizar ningún tipo de medida que se ajuste a lo que se ha buscado desde el inicio.

Sin embargo, una vez que se realice una instalación más apropiada para la bomba manual de mecate, se podrá llegar a caracterizar correctamente la extracción de agua. Se debe ser optimista, puesto aunque no se haya realizado la caracterización completa y la extracción de los datos que servirán en un futuro, se dispone de un motor que con la correcta reducción es capaz de modificar la potencia y su velocidad, para ajustarnos a las necesidades del experimento que se quiera reproducir.



# Capítulo 5

## Conclusiones

### 5.1 Conclusiones

A lo largo del desarrollo del presente proyecto fin de carrera, el alumno ha adquirido experiencia en el manejo de aplicaciones de software desconocidas como LabVIEW. Otro aspecto que también ha sido muy importante y que más dificultad ha entrañado ha sido la elección de cualquier dispositivo.

El camino para la elección de cualquier dispositivo, ha sido la labor de ingeniería más complicada, debido a que sin duda, menos reconocimiento posee y más trabajo requiere. Donde puede ocurrir que la búsqueda no lleve a ninguna parte, ya que no exista nada en el mercado que pueda solucionar el problema existente, provocando una gran frustración en el alumno, que llega a considerar en cierto momento que el tiempo no ha sido

satisfactoriamente empleado y que tal vez, podría haberse dedicado a otros asuntos menos relevantes pero que producen una mayor recompensa.

Sin embargo, esta parte del proyecto fin de carrera, ha sido la que más conocimientos y experiencia ha podido proporcionar a cómo solventar en el futuro problemas relacionados con el trabajo que desarrolle. Con la experiencia adquirida, el criterio más importante de entre todos, una vez que se hayan satisfecho las necesidades mínimas, es el presupuesto del cual se disponga.

Uno de los puntos más importantes para el desarrollo del software en LabVIEW, fue el uso del propio foro de la web de National Instruments. Esto es debido a que cada uno de los usuarios del mismo, suben sus códigos para colaborar y resuelven dudas en cada uno de los aspectos que necesiten. Es por ello, que es una comunidad que puede tanto aportar información a principiantes en el desarrollo de códigos que empleen LabVIEW como a expertos en la materia.

Una de las experiencias más gratificadoras en la elaboración del proyecto ha sido la colaboración con los compañeros y profesores. De hecho, gracias a ellas, se decidió el modelo del motor para la bomba manual de mecate y cuál era el mejor modelo de entre todos los que suministraba el comercial elegido. También es de destacar, que gracias a las conversaciones con cada uno de los agentes de los distintos distribuidores de sensores que existen, surgieron algunas ideas sobre qué era lo más adecuado. Incluso la adquisición de las baterías de plomo se debió a que el propio comercial del motor, propuso un establecimiento dedicado a la venta de electrónica, en el cual se encontraban a un precio muy inferior a sus competidores.

Por último, el aspecto menos técnico y más humano del proyecto, debido a que se desarrolla en un entorno de cooperación para los países con la necesidad básica de poder extraer agua, ha sido un gran apoyo y un motor para que el alumno decidiese colaborar con todo el tiempo disponible y su trabajo en el mismo. Sin duda, el estudiar un poco más de las

necesidades existentes, ha conseguido mentalizarle de que todo el tiempo en ayudar al prójimo es poco y que tal vez, colaborando entre todos con pequeños gestos, se puede conseguir que el mundo sea un poco mejor.

## 5.2 Futuras mejoras y ampliaciones

Se podrían realizar en base a lo que está ya diseñado en LabVIEW, nuevas aplicaciones que pudieran enviar los datos que se han obtenido en el sensor, a través de internet o la introducción de un aviso por vía móvil si sucediese alguna anomalía en las instalaciones y que nuestro software detectase que se están superando los umbrales máximos del rango de medida.

Sin duda, dentro de todas las posibles mejoras, la más importante y que se debe acometer ahora mismo, es el rediseñar la estructura existente de la bomba manual de mecate, con la incorporación de nuevos perfiles que sean capaces de evitar los movimientos que se producen cuando se realiza la extracción de agua.

También sería interesante, poder incorporar en el motor un pequeño anexo que se encontrase junto a la rueda grande de la bomba manual, en la parte superior de la misma, con la ventaja de reducir el tamaño de la cadena existente, dando lugar a un conjunto más compacto con los elementos que componen la motorización.



# Capítulo 6

## Presupuesto

### 6.1 Memoria económica

En el presente presupuesto no se ha incluido las instalaciones existentes del laboratorio de tecnologías apropiadas, tales como las bombas manuales de las que se disponen, aunque sea cierto que van a ser las que en última instancia necesiten la incorporación de los dispositivos que se han desarrollado a lo largo de la presente memoria, ya han sido presupuestadas por los compañeros que han trabajado en ellas en sus diferentes proyectos fin de carrera.

Esta memoria económica, constará de las siguientes partes:

- Costes de personal.
- Costes de equipo.
- Costes de material de oficina.

- Costes indirectos.

## 6.2. Costes de personal

Dado que el alumno ha realizado el proyecto fin de carrera en un entorno de cooperación dentro de la Universidad, el coste de personal, se puede asumir que sería nulo.

## 6.3. Costes de equipo

Esta sección del presupuesto, tendrán en cuenta los costes de todos los equipos que han sido necesarios para la consecución del proyecto. También se incluirán las licencias de software que son necesarias para poder desarrollar todo el capítulo de adquisición de datos. Otro aspecto importante es que se incluye dentro del mismo el uso de un PC estándar de sobremesa, que sería necesario para todo el tratamiento de señales que hayan sido adquiridas a través de los sensores.

| Concepto  | Cantidad | Precio ud | Total   |
|---|----------|-----------|---------|
| Ordenador personal                              | 1        | 600 €     | 600 €   |
| Microsoft Office                                | 1        | 340 €     | 340 €   |
| Labview 2010 Completo                           | 1        | 2.749 €   | 2.749 € |
| Sensor de presión                               | 1        | 22,41 €   | 22 €    |
| Sensor de caudal                                | 1        | 443 €     | 443 €   |
| Sensor de volumen                               | 1        | 156,49 €  | 156 €   |
| Sensor de fuerza                                | 1        | 17 €      | 17 €    |
| Sensor de frecuencia                            | 1        | 33 €      | 33 €    |
| Tarjeta de adquisición de datos, modelo NI 9201 | 1        | 349 €     | 349 €   |
| Tarjeta de adquisición de datos, modelo NI 9229 | 1        | 1.199 €   | 1.199 € |
| Motor y accesorios                              | 1        | 269 €     | 269 €   |
| Baterías de Pb, 36 V y 7,0 Ah                   | 3        | 8,78 €    | 26 €    |
| Baterías de Pb, 36 V y 9,0 Ah                   | 3        | 17,72 €   | 53 €    |
| Cassete para bicicleta                          | 1        | 16 €      | 16 €    |

|  |   |      |         |
|--|---|------|---------|
| Accesorios para correcto montaje<br>( cables, conexiones, tuberías...) | 1 | 30 € | 30 €    |
| Transportes  | 1 | 9 €  | 9 €     |
| TOTAL  |   |      | 6.312 € |

Gráfica 11. Presupuesto de costes de equipo

## 6.4. Costes de material de oficina

Los costes asociados al material de oficina, son muy inferiores a todo lo relacionado con la adquisición de datos o motorización de la bomba manual de mecate, sin embargo habrá que tenerlos en cuenta. Estos costes son los derivados del tratamiento de la información del presente proyecto, donde se ha tenido que imprimir para poder corregir de una forma más cómoda los errores tipográficos del mismo. Además también se ha tenido en cuenta para este apartado, todo el material tal como: bolígrafos, tijeras, lápices, reglas... Dando un coste aproximado de CINCUENTA EUROS.

## 6.5. Costes indirectos

El presente proyecto se ha desarrollado principalmente en el laboratorio de tecnologías apropiadas, donde los gastos relacionados con el agua, electricidad, calefacción y desplazamientos, se considerarán como un 10% del gasto total del proyecto.

## 6.6. Presupuesto total

Una vez que se han desglosado los diferentes capítulos del presupuesto, el presupuesto total del proyecto es de SEIS MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y OCHO EUROS.

| Concepto                     | Cantidad |
|------------------------------|----------|
| Coste del equipo             | 6.312 €  |
| Coste de material de oficina | 50 €     |
| Subtotal                     | 6.362 €  |
| Costes indirectos (10%)      | 636 €    |
| Total                        | 6.998 €  |

Gráfica 12. Presupuesto total



# Capítulo 7

## Bibliografía

- [1] TOBELLÁ Arredondo, Javier. Diseño, montaje y ensayo de una bomba de mecate. PFC 2011. Universidad Carlos III de Madrid.
- [2] TOMILLO Gutiérrez, Unai. Estudio acerca del empleo de la bomba manual de agua en el ámbito rural en países en vías de desarrollo. PFC 2005. Universidad Carlos III de Madrid.
- [3] RUIZ Martín, Sergio. Instrumentación, adquisición de datos y ensayo de bici-bombas de mecate. PFC 2011. Universidad Carlos III de Madrid.
- [4] PALLÁS ARENY, Ramón. Sensores y acondicionadores de señal. Editorial Marcombo. 2003, 4ª Edición.
- [5] LAJARA Vizcaíno, José Rafael y PELEGRI, Sebastia José. Labview: Entorno gráfico de programación. Editorial Marcombo. 2007.

- [6] WEBSTER, G. John. The measurement, instrumentation and sensor handbook. Editorial CRC Press. 1999.
- [7] GARCÍA GUTIÉRREZ, Pedro. Instrumentación aplicada a la ingeniería. Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- [8] [web foro National Instruments]: [www.forums.ni.com](http://www.forums.ni.com)
- [9] [web de National Instruments]: <http://www.ni.com/>
- [10] [web de la Organización Mundial de la Salud]: [www.who.int/es/](http://www.who.int/es/)
- [11] <http://www.sapiensman.com>
- [12] Manual de usuario de DRUCK DPI 601.
- [13] [Página web de wikipedia]: <http://es.wikipedia.org>

## Anexos

Se adjuntará en un Cd, todos los programas que se han diseñado en LabVIEW para el análisis y toma de datos de los diferentes sensores que han sido seleccionados previamente. Constará de 3 archivos, uno para el sensor de presión, otro para el caudal y por último el correspondiente para el análisis del volumen extraído.